

Análise descritiva e preditiva do consumo e eficiência dos processos de envernizamento de embalagens metálicas

Joana Barros de Sousa

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Gonçalo Figueira



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2016-07-04

Aos meus pais
À minha irmã

Resumo

O planeamento de qualquer empresa compreende, entre muitas atividades, a determinação das necessidades de matérias-primas para produção. Considerando, por exemplo, dados históricos de consumo, os processos e condições existentes no chão-de-fábrica, e tendo em atenção o compromisso entre a garantia da qualidade, através da disponibilidade da matéria-prima, e a minimização dos custos, as quantidades teóricas de consumo são determinadas.

Quando a realidade se revela muito distinta do planeado, havendo necessidade de se realizar constantes correções nos inventários, a informação fornecida através de planeamento perde credibilidade. Torna-se, portanto, fundamental que as causas dos desvios de consumo sejam estudadas, compreendidas e quantificadas, de modo a assegurar a sustentabilidade da cadeia de abastecimento.

Para compreender as causas de desvios de consumo de matérias-primas na Colep Portugal, começou-se por fazer o levantamento da situação inicial, o qual compreendeu a observação do processo produtivo no qual são utilizadas as matérias-primas em análise, o registo de valores de consumo em linha e comparação com o estimado, existente em SAP, e a verificação do modelo de estimativa adotado pela empresa.

De seguida, tendo por base as necessidades da organização, depreendidas da fase anterior, recorreu-se à analítica descritiva e preditiva para definição de um modelo de estimativa de consumo mais preciso para um dos processos de envernizamento. Para isso, recorreu-se à ferramenta de Diagrama de Causa e Efeito, e foi realizada uma análise exploratória de dados e regressões. Para os restantes processos, considerou-se vantajoso o estudo dos seus valores de eficiência e eficácia, e a consequente investigação e teste de melhorias a implementar na linha de produção. Para tal, foi realizado um Benchmarking de produtos e pesquisa bibliográfica de fornecedores de equipamentos de envernizamento e de matérias-primas.

Do estudo realizado foi possível identificar a existência de equipamento pouco adequado para o processo de envernizamento, a realização de estimativas de consumo tendo por base informação obsoleta, as más práticas em linha e a pouco clara distinção entre consumo total, o qual considera desperdícios inerentes aos processos, e quantidade necessária à garantia da qualidade do produto, como causas das discrepâncias entre consumos planeados e reais.

Por fim, foi possível perceber que alterações simples no equipamento permitem então aumentar a eficiência de transferência do processo em 22 pontos percentuais e standardizar o processo e os seus resultados, levando a um maior controlo dos mesmos e dos inventários. Devem, no futuro, ser alterados os valores de consumo previsto em SAP e investigadas novas soluções, como a eliminação de um dos processos, que, como foi possível comprovar, também asseguram a qualidade do produto. Embora não tenha sido possível definir um modelo preditivo de consumo robusto, a metodologia seguida neste projeto deve ser adotada em trabalhos futuros, na tentativa de otimizar o modelo existente na empresa.

Descriptive and predictive analysis of consumption and efficiency of metal packaging coating

Abstract

The planning of any company comprises, among several activities, the material requirement planning. Considering, for example, historical consumption data, the existing processes and conditions on the shop floor, and taking into account the tradeoff between the stock disadvantages and the availability of material required for production, the theoretical consumption quantities and associated costs are determined.

Whenever discrepancies between the planned and actual quantities are identified, being necessary to correct stock values in the database, the estimated values lose credibility.

It becomes crucial to study, understand and quantify all the causes of deviation, in such way that the supply chain sustainability is assured.

In order to understand the causes of deviation at Colep Portugal, it was observed the productive process in which the raw materials are used, the consumption quantities were measured and then they were compared to the estimated values, recorded in SAP. In addition, it was verified the predictive model.

At a later stage, considering the information of the previous one, the analytic and predictive analytics were applied in order to define a more precise model to estimate the consumption of one of the materials. In this regard, it was used the Fishbone Diagram and it was conducted an exploratory analysis of data and regressions. For the remaining processes, it was considered that it would be advantageous to quantify their efficiency and effectiveness and, subsequently, investigate and test solutions to improve them. In order to do so, it was done a Benchmarking of products and a bibliographic research.

The conducted study made it possible to identify the existence of an inadequate coating equipment, the estimates based on outdated information, poor practices on the production line and the unclear distinction between total consumption, which considers the process's inherent waste, and the required quantity to ensure the product quality, as causes of discrepancy between the planned and actual consumption.

Finally, it was possible to realize that simple modifications in the equipment makes it possible to increase the transfer efficiency by 22 percentage points and to standardize the analyzed process; therefore, the control over its outputs and over the associated stock increases. In the future, the estimated values of consumption in SAP shall be updated and new solutions shall be investigated, such as the elimination of one of the processes, which, as can be proven, also ensure the product quality. Although it was not possible to define a robust predictive model of consumption, the followed methodology in this project shall be adopted in future works, in an attempt to optimize the existing model at Colep.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à Colep pela oportunidade dada para a realização do projeto de dissertação, tendo-se revelado uma excelente escola.

Agradeço ao Engenheiro Mário Vaz pelo tempo despendido a transmitir-me o seu conhecimento e sabedoria, resultante da sua enorme experiência. Agradeço, também, a sua exigência, a qual me fez progredir e foi muito importante durante a realização do meu projeto.

Ao Eduardo, à Mariana, ao Abel Pina, ao Fonseca e ao Renato pela imensa disponibilidade, pelos ensinamentos, pela preocupação constante ao longo do projeto e pela sua boa disposição.

Gostaria de agradecer ao Professor Gonçalo Figueira pelo acompanhamento prestado ao longo da realização da dissertação e pela sua disponibilidade.

Aos meus colegas estagiários, Inês e Tiago, pela amizade, apoio e por terem querido, tal como eu, formar a equipa incrível que formámos.

À minha família, pela preocupação, por todo o amor e carinho, pelo esforço feito para eu poder chegar onde cheguei, pela confiança e fé em mim e pelas palavras ditas nos momentos mais importantes. Nada seria possível, nem faria sentido, sem ela.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1.	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2.	A Colep	2
1.3.	O Projeto na Colep.....	2
1.4.	Método adotado no projeto	4
1.5.	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão e enquadramento teórico	6
2.1.	Planeamento da Cadeia de abastecimento.....	6
2.2.	Métodos para envernizamento de embalagens metálicas	10
2.3.	Análítica descritiva e preditiva.....	11
3	Descrição do problema	13
3.1.	Determinação das quantidades estruturais esperadas de consumo	13
3.2.	Caraterização da área e da linha de produção	14
3.3.	Descrição dos processos	15
4	Métodos para estimativa dos consumos previstos- situação inicial	18
4.1.	Consumos teóricos de verniz pó para revestimento	19
4.2.	Consumos teóricos de verniz para reserva exterior	20
4.3.	Consumos teóricos de verniz para olhais.....	22
5	Análise dos desvios no consumo de verniz pó	24
5.1.	Quantificação dos desvios	24
5.2.	Apresentação de um novo modelo de consumo	27
5.3.	Levantamento dos fatores explicativos de variação de consumo	27
5.4.	Análise exploratória de modelos preditivos	30
6	Análise dos desvios de consumo para vernizes líquidos.....	36
6.1.	Quantificação dos desvios	36
6.2.	Observação dos fatores influentes no problema	38
6.3.	Quantificação dos desperdícios e eficiência do processo	39
7	Soluções propostas	41
7.1.	Modelo para estimativa de consumo de verniz pó	41
7.2.	Soluções para os processos de revestimento com verniz líquido	41
7.1.1	Implementações a curto prazo.....	42
7.1.2	Implementações a médio/ longo prazo	43
7.3.	Quadro resumo de implementações	46
8	Conclusões e perspetiva de trabalho futuro	47
9	Referências	49
ANEXO A:	Esquema representativo da estrutura organizacional	51
ANEXO B:	Organograma da empresa.....	52
ANEXO C:	Cronograma do projeto.....	53
ANEXO D:	Exemplo de Ficha Técnica	54
ANEXO E:	Parâmetros do processo.....	55
ANEXO F:	Exemplo de ordem de produção	56
ANEXO G:	Método de medição, em linha, da gramagem	57
ANEXO H:	Análise numérica aos valores de gramagem	58
ANEXO I:	Interações entre variáveis.....	59
ANEXO J:	Processo adotado na análise de regressão	60
ANEXO K:	Verificação da linearidade para variáveis qualitativas.....	61
ANEXO L:	Verificação dos pressupostos da regressão	62

ANEXO M:	Verificação dos pressupostos com transformação logarítmica	64
ANEXO N:	Verificação dos pressupostos com transformação de raiz quadrada	66
ANEXO O:	Verificação dos pressupostos com transformação recíproca.....	68
ANEXO P:	Verificação da performance do modelo de previsão	70
ANEXO Q:	Análise ao verniz para revestimento de costura exterior	71
ANEXO R:	Método utilizado na avaliação da eficiência para as alterações no equipamento de envernizamento	72

Siglas

p.p.: Pontos percentuais

ERP: Planeamento dos Recursos Empresariais (*Enterprise Resource Planning*)

MRP: Planeamento de necessidades de materiais (*Material Requirements Planning*)

SAP: Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados (*System analyses and Programme networking; Systems, Applications & Products in Data Processing*)

TC: Tronco-Cónico

TC 286x370: Tronco-Cónico de diâmetro 286mm e altura 370mm

Índice de Figuras

Figura 1- Exemplos de desvios verificados em SAP.....	3
Figura 2- Exemplos de corrosão exterior e interior, respetivamente.....	3
Figura 3- Hierarquia das tarefas de planeamento	8
Figura 4- Matriz de planeamento da cadeia de abastecimento	9
Figura 5- Formatos produzidos na linha 23.....	14
Figura 6- Fluxograma do processo produtivo da linha 23.....	15
Figura 7- Representação de envernizamento eletrostático e soldadura revestida com verniz pó, respetivamente	16
Figura 8-Equipamento para revestimento de costura exterior e forno de cura, respetivamente	16
Figura 9- Olhal soldado na embalagem e equipamento utilizado para o seu revestimento, respetivamente	17
Figura 10 - Esquema de área de aplicação de verniz pó.....	19
Figura 11- Esquema da referência de olhal utilizado no processo	22
Figura 12- Orifícios resultantes da soldadura do olhal	22
Figura 13- Diferenças entre consumo estimado no projeto e na empresa, para TC 286	24
Figura 14- Diferenças entre consumo estimado no projeto e na empresa, para TC 292	25
Figura 15- Diagrama de dispersão da gramagem	25
Figura 16- Diferenças entre consumo real e estimado para modelos mais produzidos.....	26
Figura 17- Diferenças entre novas estimativas e consumo real	27
Figura 18- Diagrama de Causa e Efeito para variações de consumo de verniz pó.....	28
Figura 19- Exemplo de aplicação com resíduos de soldadura e desvios de aplicação	29
Figura 20- Exemplos de revestimento dourado e pigmentado, respetivamente	29
Figura 21- Exemplos de esquema litográfico e revestimento branco.....	30
Figura 22- Esquema representativo do forno de cura.....	30
Figura 23- Matriz de diagramas de dispersão para análise de consumo de verniz pó.....	31
Figura 24-Diagrama de caixas para distribuição de gramagem por tipo de revestimento interior	31
Figura 25- Método utilizado na análise de regressões: in “Prof. Andy Field, Exploring Data: The Beast of Bias., (Field 2012), 2012”	33
Figura 26- Comparação entre valores em SAP e calculados no projeto, para olhais	36
Figura 27- Comparação entre valores em SAP e calculados no projeto, para costura exterior	37
Figura 28- Diferenças de consumo para vernizes líquidos.....	37
Figura 29- Representação esquemática e real, respetivamente, do equipamento para revestimento de olhais	38
Figura 30- Resultados do teste de sulfato de cobre em olhais.....	40
Figura 31- Mudanças no equipamento de envernizamento de olhais.....	42

Figura 32- Olhal não envernizado em embalagens de empresas concorrentes	44
Figura 33- Área, da linha de produção, onde decorre o envernizamento dos olhais.....	44
Figura 34- Processo produtivo de olhais envernizados	45

Índice de Tabelas

Tabela 1- Dados considerados para cálculo de consumos teóricos	18
Tabela 2- Consumo teórico de verniz pó para TC 286.....	20
Tabela 3- Consumo teórico de verniz pó para TC 292.....	20
Tabela 4- Consumo teórico esperado para envernizamento da costura exterior para TC 286 .	21
Tabela 5- Consumo esperado para verniz de revestimento de costura exterior, para TC 292 .	22
Tabela 6- Consumo previsto de verniz para proteção de olhais	23
Tabela 7- Preço do verniz pó em análise	24
Tabela 8- Custo anual dos desvios de consumo de verniz pó na linha 23.....	26
Tabela 9- Preço dos vernizes líquidos sob análise	36
Tabela 10- Custos anuais dos desvios de consumo nos revestimentos exteriores na linha 23.	38
Tabela 11- Custos de alterações de valores de consumo para linha 23	43
Tabela 12- Quadro resumo de implementações	46

1 Introdução

1.1. Enquadramento do projeto e motivação

Um dos aspetos mais importantes para a sustentabilidade organizacional e eficácia operacional, em qualquer empresa de manufatura, é o foco na otimização das operações, a qual depende, entre outros fatores, de como a empresa realiza o seu planeamento, define os seus processos produtivos e controla os inventários. A gestão das matérias-primas, base de um sistema produtivo, assume um papel fundamental nesta questão, na medida em que uma estimativa pouco adequada do seu consumo tem repercussões ao longo de toda a cadeia.

Determinar, de forma excessiva ou deficitária, as quantidades necessárias à produção leva a que se gerem falhas na definição das necessidades de consumo para planeamento e compra, o que por sua vez resulta em níveis de inventário desadequados: associada a estimativas excessivas encontra-se a determinação de necessidades de consumo superiores às reais e, consequentemente, a existência em armazém de bens em quantidades desnecessárias. Neste caso, os custos associados à posse de *stock* aumentam. Por outro lado, quando a empresa estima, por defeito, as quantidades necessárias para produção, a probabilidade de vir a incorrer em custos de rutura de *stock* aumenta, dado que não são previstas, na base de dados da empresa, as quantidades reais de saída de matéria-prima do armazém. Num momento de crescente valorização da automatização dos processos, nos quais se incluem os de planeamento, compra, gestão de quantidades armazenadas e transmissão de informação em tempo real nas várias áreas da empresa, atingida através de instalação de sistemas como o SAP, MRP e ERP, a exatidão dos dados fornecidos deve ser assegurada.

Estimar desadequadamente as quantidades necessárias de uma parte para produção tem, também, consequências na qualidade do produto: o erro associado à estimativa traduz-se em falhas nas especificações do bem produzido e, por conseguinte, numa avaliação de desempenho baseada em falsos valores. Se o controlo de qualidade da empresa não incluir testes qualitativos, isto é, testes para além da avaliação numérica e quantitativa das partes constituintes do produto, ou se estes não forem suficientemente potentes, o risco associado à comercialização de bens não conformes aumenta significativamente. Assim, a excelência no que respeita ao produto e à satisfação das necessidades do cliente não é atingida pela organização. Relativamente às embalagens metálicas, a não garantia da qualidade reflete-se, entre outras formas possíveis, através da formação de corrosão, a qual pode ter consequências maiores, particularmente a nível sanitário, quando se trata de embalagens para produtos alimentares (Montanar 2015).

Associada, também, à otimização das operações e gestão do consumo durante a produção encontra-se a avaliação e consequente aumento da eficiência dos processos e equipamentos. Este incremento de eficiência, aliado à normalização e estabilização dos resultados dos processos, permite que os valores estimados de consumo sejam mais realistas. Para além disso, possibilita que a produção seja realizada de forma mais competitiva. Segundo um estudo realizado pela consultora Ernst & Young (2015) é essencial que os fabricantes de

embalagens metálicas melhorem os processos produtivos e invistam em equipamentos que permitam reduzir o desperdício. Estas necessidades resultam dos custos de material perdido, os quais não podem ser recuperados através das vendas aos clientes, devido ao facto de estes serem sensíveis a variações nos preços, das restrições ambientais e da volatilidade dos preços das matérias-primas.

Por fim, observar as características intrínsecas à matéria-prima, analisar os processos produtivos nos quais estas são transformadas e aplicadas, estudar dados históricos e prever situações futuras são fatores fundamentais para minimizar os erros associados às estimativas de consumo.

1.2. A Colep

A Colep S.A. foi fundada em 1965, por Ilídio Pinho, em Vale de Cambra, com o intuito de dar resposta às necessidades de transporte de leite produzido na região. Desta forma, vocacionava-se, inicialmente, para o fabrico de embalagens metálicas. Dez anos depois, foi iniciado o fabrico de embalagens plásticas, a produção de embalagens industriais, alimentares e aerossóis, e o “*Contract Manufacturing*”, que compreende as etapas de formulação, fabrico, enchimento e embalamento.

A aquisição da empresa, em 2001, pelo grupo RAR foi fundamental para o seu crescimento e para a sua expansão além-fronteiras, tendo-se tornado o líder europeu em produção de aerossóis e no fornecimento de produtos líquidos na área de *Contract Manufacturing*.

Resultado desta expansão, a empresa adotou uma estrutura divisional por produto. No Anexo A, encontra-se um esquema representativo da estrutura organizacional da empresa e, no Anexo B, encontra-se disponível o seu organograma.

A crescente presença internacional da empresa traduziu-se, em 2015, em vendas consolidadas de 466 milhões de euros, permitindo antecipar um crescimento sustentado da sua atividade e resultados nos próximos anos.

A Colep Portugal apresenta duas áreas de negócio distintas: o embalamento e o enchimento. No embalamento são produzidas embalagens plásticas e metálicas, que podem ser enviadas diretamente para o cliente ou para a área de enchimento. No enchimento, as embalagens são enchidas com produtos desenvolvidos em parceria entre a Colep e o cliente, sendo as embalagens provenientes de outras empresas ou da área de embalamento, como mencionado anteriormente.

A fábrica de plásticos divide-se em duas áreas: a de injeção e a de insuflação.

Na fábrica de embalagens metálicas são produzidos os aerossóis e as embalagens de *General Line*, sendo que estas últimas se subdividem em alimentares e industriais.

1.3. O Projeto na Colep

Com o presente projeto, pretende-se:

- Dar resposta às dúvidas existentes relativamente aos desvios ao consumo detetados numa das matérias-primas: os vernizes colocados nas reservas de soldadura e nos olhais soldados;
- Compreender o que se encontra na base das discrepâncias entre o consumo planeado e o consumo real, as quais apresentam um peso considerável, tendo como comparação as quantidades requeridas para produção- como será analisado futuramente, para a produção de 1000 unidades, num dos processos, há um consumo médio estimado de 79 gramas. Na Figura 1, encontram-se apresentados dois exemplos dos desvios de

consumo verificados na empresa. Os valores foram retirados do SAP e referem-se à área produtiva de fabrico de embalagens industriais.

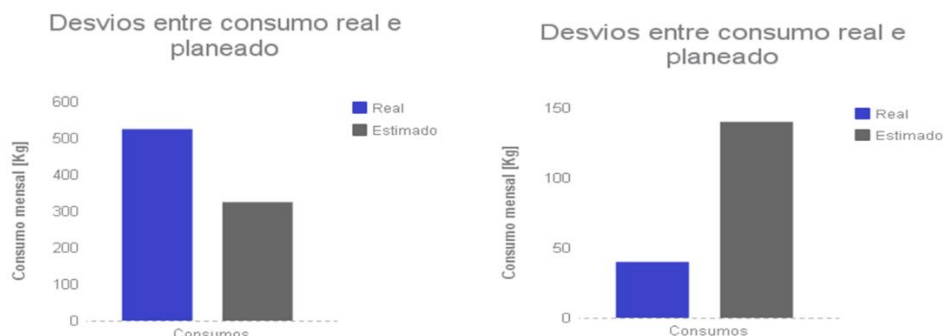


Figura 1- Exemplos de desvios verificados em SAP

- Avaliar, como resultado da mentalidade *Lean*, a eficiência de alguns processos, no sentido de diminuir desperdícios e estabilizar resultados, permitindo a sua previsão mais precisa.

Devido aos baixos custos da matéria-prima em análise, os quais não requerem, por exemplo, a ocupação de elevado espaço para armazenamento e apresentam um preço de compra pouco significativo, a principal motivação da empresa para a realização deste projeto, é evitar falhas de material essencial à qualidade do produto da empresa e do cliente e ao cumprimento do estabelecido contratualmente. A aplicação de verniz de forma insuficiente gera um problema que afeta quer o produto Colep, quer o produto do cliente: a corrosão.

A garantia da não ocorrência de ruturas de material em inventário torna-se mais premente dado o facto de alguns fornecedores operarem em regime *make-to-order*, isto é, produzirem somente após receção de encomenda, o que aumenta o tempo de espera para recebimento do material em caso de falta de matéria-prima. Na Figura 2, apresentam-se dois exemplos de corrosão ocorridos na parte exterior e interior da embalagem.



Figura 2- Exemplos de corrosão exterior e interior, respetivamente

Com a realização do projeto apresentado na presente dissertação, é possível reduzir a relutância dos colaboradores relativamente à exatidão da informação existente em SAP, a qual se tem verificado como resultado da necessidade de correção dos seus valores.

Para tal, determinou-se como fundamental à resolução do problema:

- A definição, para uma das matérias-primas, de um novo modelo para estimativa de consumo, a ser utilizado pela Área Técnica e, consequentemente, pelo Departamento de Compras da empresa, tendo por base as características do material e a informação relativa às encomendas.
- A quantificação dos desperdícios, e a sua consequente minimização, nos restantes processos, nos quais são utilizados diferentes materiais.

A definição de diferentes propósitos resulta do facto de se ter como foco a maximização dos interesses da Colep Portugal. O material sobre o qual se deseja definir um modelo de previsão de consumo, verniz pó para revestimento da costura interior, é essencial à qualidade da embalagem, protegendo-a contra a formação de corrosão, pelo que é essencial evitar quebras de inventário. Para além disso, o processo onde este material é utilizado é altamente eficiente, (ver Secção 2.2), não havendo perdas de material para o exterior da virola. Relativamente aos restantes processos nos quais são utilizados vernizes líquidos, as metas definidas resultaram da identificação de falhas e oportunidades de melhoria na linha de produção (essencialmente relacionadas com perdas por desperdícios e baixa standardização dos processos), tendo em conta o facto de estes não terem um papel crucial na proteção contra a corrosão, mas por serem importantes para a afiança, em muitos casos, de uma apresentação apelativa para o cliente.

1.4. Método adotado no projeto

A resolução do problema identificado divide-se em quatro fases principais:

1. Avaliação da situação inicial: durante esta fase do projeto, de tal forma que os dados de análise sejam fidedignos e sejam conhecidas as circunstâncias em que foram obtidos, são feitos, na linha de produção, registos de consumo reais das matérias-primas e das respetivas condições de aplicação;
2. Comparação de consumos reais com valores estimados existentes em SAP e definição dos estados do processo (se são eficientes ou não);
3. Análise e quantificação dos fatores influentes nos resultados obtidos na fase anterior: nesta fase, devem ser utilizadas ferramentas para análise descritiva e para análise preditiva, as quais se encontram disponíveis em *pacotes* como o *R-Studio*;
4. Identificação de possíveis sugestões de melhoria e implementação das mesmas, de acordo com as necessidades da empresa.

No Anexo C, encontra-se disponível o cronograma de realização do projeto.

1.5. Estrutura da dissertação

O presente documento encontra-se dividido em seis capítulos.

O segundo capítulo compreende o enquadramento teórico, no qual são abordados os conceitos relacionados com o problema a resolver. É analisado o planeamento da cadeia de abastecimento, tendo como foco os vários níveis (curto, médio e longo prazos) e as diferentes funções existentes nesta cadeia e é estudada a relação entre os vários métodos de envernizamento de embalagens metálicas e o tema anteriormente mencionado. Por fim, é abordada a analítica preditiva e descritiva, como ferramenta importante na atividade de planeamento.

O terceiro capítulo é dedicado à exposição das atividades diretamente relacionadas com o projeto. Este é constituído, então, pela apresentação da área e da linha de produção onde se desenvolveu o projeto e pela descrição do processo de encomenda de matérias-primas na empresa.

O capítulo seguinte é constituído pela análise da situação inicial, pela identificação dos fatores explicativos dos problemas detetados na fase inicial e, finalmente, pela quantificação desses fatores. Esta metodologia foi adotada para todos os processos analisados no projeto, os quais se encontram apresentados separadamente.

No quinto capítulo são desenhadas e avaliadas possíveis soluções para resolução do problema.

Por fim, no sexto capítulo, são descritas as conclusões e apresentados possíveis trabalhos futuros no âmbito do projeto.

2 Revisão e enquadramento teórico

2.1. Planeamento da Cadeia de abastecimento

Ao longo da cadeia de abastecimento de qualquer empresa, milhares de decisões têm de ser tomadas e coordenadas continuamente. Estas decisões variam no que respeita à sua importância sendo que, quanto maior esta for, mais preparação requer.

Ou seja, quanto mais importante for a decisão a tomar, um maior nível de planeamento é exigido.

Segundo W. Domsch e A. Scholl (2003), o planeamento é uma ferramenta de apoio ao processo de decisão, no qual são identificadas alternativas futuras para um problema e, posteriormente, a melhor é selecionada. Segundo estes autores, o planeamento divide-se, então, em cinco fases:

1. Reconhecimento e análise do problema;
2. Identificação dos objetivos;
3. Previsão de acontecimentos futuros;
4. Identificação e avaliação das soluções;
5. Seleção das melhores propostas.

De acordo com Caprihan et al. (2001), devido à complexidade inerente à cadeia de abastecimento, nem todos os detalhes devem ser incluídos e considerados durante o planeamento. A omissão de pormenores que, em situações pontuais, influenciam significativamente o resultado é necessária à determinação de um modelo simples e ilustrativo da realidade.

O modelo utilizado como ferramenta pode ser de previsão e simulação, sendo que nestes casos se pretende antecipar acontecimentos futuros e explicar relações entre *inputs* e *outputs* do sistema (análítica descritiva e preditiva – ver Secção 2.3), ou pode ser de otimização, o qual difere dos anteriores por apresentar uma função objetivo que se pretende maximizar ou minimizar (análítica prescritiva – Evans 2012).

Uma forma simplista de fazer o planeamento compreende a observação de diferentes alternativas, a sua comparação tendo por base um determinado critério, e, por último, a seleção da hipótese mais adequada para esse mesmo critério. Contudo, durante a realização deste método, o planeador, tipicamente, encontra três grandes dificuldades: conflito de objetivos e ambiguidade entre alternativas, resultantes dos critérios definidos para análise; a existência de um elevado número de possibilidades a considerar (por exemplo, podem-se verificar infinitas possibilidades para tamanho de amostras e para sequências possíveis de realização de trabalho de uma máquina); e, finalmente, a presença de incerteza (Fleischmann, Meyr e Wagner 2005).

Devido ao desconhecimento e impossibilidade de controlo dos eventos futuros, verifica-se, muitas vezes, discrepâncias entre o planeado pela empresa e a realidade, as quais devem ser controladas através da revisão dos planos estabelecidos.

A revisão pode ser feita de duas formas distintas:

- A. Periodicamente (*rolling horizon basis*): segundo Sethi e Sorger (1991), este tipo de revisão é commumente utilizado em negócios com ambiente dinâmico estocástico. Resumidamente, esta prática envolve que sejam tomadas decisões, com base em previsões para periodos futuros, num primeiro periodo definido num horizonte temporal (por exemplo, primeiro mês de um ano). No início do segundo periodo, equivalente, no presente exemplo, ao segundo mês do ano, são tomadas novas decisões, baseadas em previções para periodos adicionais e em eventuais atualizações realizadas nos modelos de previsão utilizados no primeiro periodo. Este procedimento é, depois, repetido no início dos restantes periodos.
- B. Como resultado da ocorrência de um evento importante (*event-driven plan*): neste caso, um novo plano não é definido periodicamente, mas, apenas, quando se verifica um evento relevante como quebras ou excesso de inventário, alterações na procura dos clientes ou falha de equipamentos. Este método de revisão exige que toda a informação necessária ao planeamento seja continuamente atualizada (Fleischmann, Meyr e Wagner 2005).

Nos sistemas mais avançados de planeamento de produção, denominados de APS (*“Advanced Planning & Scheduling”*), e nos tradicionais sistemas MRP, ambos baseados em informação proveniente de sistemas ERP, a revisão dos planos é realizada como resposta a ocorrências relevantes, na medida em que este processo é mais eficiente.

No entanto, os sistemas APS podem não ser baseados em sistemas ERP, e nesses casos, a sua estrutura de planeamento altera-se.

Os sistemas APS, mencionados no parágrafo anterior, apresentam três caraterísticas principais distintivas dos então sistemas baseados em ERP (Entrup 2005):

1. Definição de alternativas, objetivos e restrições e recurso a métodos de otimização exatos ou heurísticos;
2. Planeamento integrado de toda a cadeia de abastecimento, considerando todas as atividades desde a parte a montante da cadeia (fornecedores) até à extremidade a jusante (clientes);
3. Sistema de planeamento hierarquico, o qual assegura um compromisso entre facilidade do planeamento (não necessita que todas as tarefas de planeamento sejam exectuadas simultaneamente) e a interdependência entre as várias tarefas. Este tipo de arquitetura permite, então, a combinação das duas caraterísticas supramencionadas.

No planeamento hierarquizado, as atividades são decompostas em módulos atribuídos a diferentes níveis da cadeia de abastecimento, os quais, por sua vez, são transversais a toda a cadeia mas diferem relativamente às tarefas que os constituem (Fleischmann, Meyr e Wagner 2005). Neste tipo de planeamento, a revisão é, tipicamente, realizada em periodos definidos, havendo, contudo, sistemas de sinalização para, em caso de ocorrência de algum problema e de forma extraordinária, o plano ser revisto. Assim, a conjugação dos dois tipos de revisão permite a maximização da flexibilidade do sistema.

Na indústria de produção de embalagens metálicas, para a realização do planeamento, são vários os pacotes de sistemas ERP utilizados (Top10ERP.org 2008). Para além do SAP, o sistema mais utilizado pelas empresas, os fabricantes optam, também, pela implementação do Epicor ERP, como resultado da sua integração com os equipamentos fornecidos pela Sencon, empresa desenvolvedora de sensores e sistemas de controlo para a indústria em questão

(Automation.com 2015). Esta é uma escolha comum em organizações que privilegiam o foco nas operações e nos processos, em detrimento da gestão das tecnologias de informação (CompuData Inc. 2015). O NetSuite ERP é outro pacote bastante popular na indústria de embalagens metálicas, sendo o líder em serviços *cloud* de gestão.

No presente projeto, o pacote utilizado para definição das necessidades de material é o SAP ERP. Desta forma, a revisão dos planos é realizada aquando a ocorrência de um evento importante. Embora exista um controlo mensal dos inventários de matérias-primas, cujos valores são comparados com o que havia sido estimado para consumo, a revisão dos planos acontece, somente, quando se verifica rutura de inventário ou acumulação, em grandes quantidades, de material em armazém (ver Secção3.1).

Na Figura 3, é possível observar como se organizam, hierarquicamente, as tarefas constituintes do planeamento.

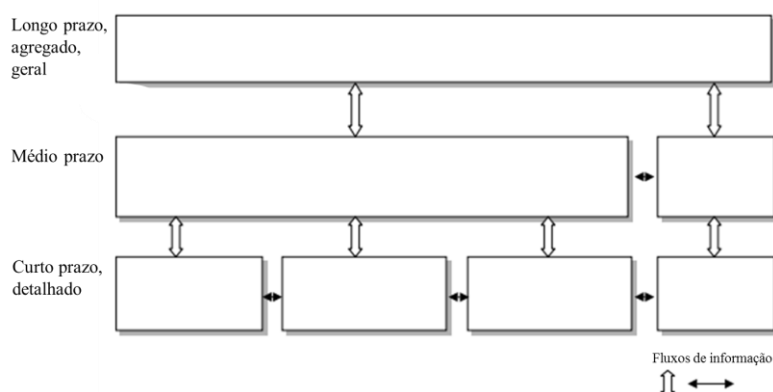


Figura 3- Hierarquia das tarefas de planeamento

O nível superior apresenta um único módulo, correspondente ao desenvolvimento de um planeamento global e a longo prazo. Nesse nível são coordenados, também, os planos dos níveis hierarquicamente abaixo.

Nos níveis inferiores, de médio e curto prazo, o planeamento é já mais detalhado, dado que as secções da cadeia de abastecimento cobertas por cada um deles é menor. O nível de detalhe com que é realizado o planeamento, em cada um dos níveis, é controlado através da agregação ou desagregação de produtos, recursos ou tempo, à medida que, respetivamente, se sobe ou desce na estrutura hierárquica (Stadtler 2005).

Todos os módulos da estrutura encontram-se conectados através de fluxos de informação horizontais e verticais.

A matriz de planeamento da cadeia de abastecimento, representada na Figura 4, tem por base, também, uma estrutura hierárquica. Esta foca-se no suporte do fluxo de materiais ao longo da cadeia e nas funções principais que a constituem- compra, produção, transporte e distribuição e, por fim, vendas (Fleischmann, Meyr e Wagner 2005).

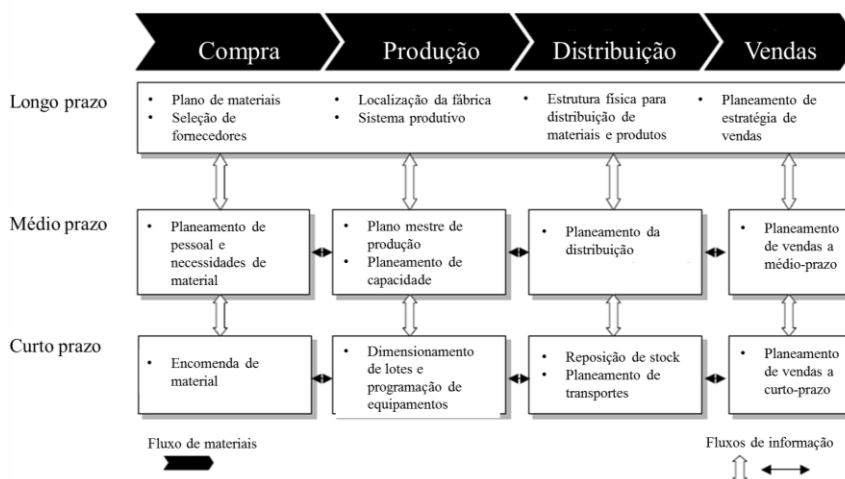


Figura 4- Matriz de planeamento da cadeia de abastecimento

Nas atividades de longo prazo, estão compreendidas as decisões sobre o portfólio de produtos da empresa, tendo por base previsões a longo prazo, e relativas à estrutura física de distribuição, a qual tem de ser adaptada às tendências de concentração das capacidades de produção, de modo a reduzir investimentos em equipamentos, minimizando os custos associados ao transporte. Neste nível, incluem-se, também, atividades como revisão da capacidade produtiva da empresa e seleção dos fornecedores e matérias-primas envolvidas no processo de produção, os quais devem ser escolhidos atendendo a critérios como qualidade, serviço e custos de aquisição (Stadtler 2005).

No planeamento a médio prazo, inclui-se a previsão de vendas de grupos de produtos em determinadas regiões, o planeamento da distribuição entre os armazéns, a definição do plano mestre de produção e o planeamento do pessoal.

É, também, num nível intermédio que se definem as necessidades de material para produção, num horizonte temporal semanal ou mensal, e os níveis de inventário necessário para produção. Para tal, o planeador pode recorrer ao tradicional conceito de MRP, o qual se encontra disponível na maioria dos pacotes do sistema ERP, ou aos sistemas estocásticos de controlo de inventários, os quais são mais realistas que os probabilísticos e deterministas, na medida em que consideram os custos de escassez e de posse de material para a formulação de um plano ótimo de inventário (Nakashima, et al. 2014).

Em SAP, existem dois tipos de procedimentos para planeamento de materiais: o MRP e o planeamento baseado nos valores de consumo verificados no passado. No SAP MRP, as necessidades de material são planeadas diretamente como requisições, sendo que estas só são realizadas em situação próxima de escassez de matéria-prima. Nestes sistemas, não existe mais nenhum critério para desencadeamento de requisições de material e, por isso, são tipicamente utilizados para componentes da classe A, ou seja, componentes representativos de elevado investimento (Kavle 2009).

No planeamento baseado em valores passados de consumo, as requisições de material são definidas através de métodos de previsão e outros procedimentos estatísticos, atendendo a três procedimentos (SAP AG 2001):

- **Ponto de reabastecimento:** o SAP verifica se o nível de stock existente é inferior ao ponto de reabastecimento definido pela empresa. Este deve garantir as necessidades de material durante os tempos necessários para processamento de compra, transporte e entrega do mesmo. A este procedimento está, por isso, associada a existência de inventário de segurança, de modo a que sejam cobertas necessidades não planeadas e em maiores quantidades durante o período acima referido.

- Planeamento baseado na previsão: dados históricos são utilizados para previsão de futuros valores de consumo, a qual é realizada periodicamente.
- Planeamento por intervalos pré-definidos: neste caso, também se recorre a dados históricos, contudo o planeamento ocorre em intervalos definidos em concordância, por exemplo, com ciclos de entregas de materiais.

O plano mestre de produção, assim como o planeamento de produção a curto prazo, fornecem informação para o planeamento das quantidades de material a comprar.

Por fim, na base da matriz, encontra-se o planeamento a curto prazo, o qual engloba atividades como planeamento de vendas a curto prazo, reabastecimento dos armazéns num horizonte temporal diário para produtos individuais, determinação de tamanho de lotes e sequenciamento de operações e a garantia da adequabilidade das encomendas de materiais, realizadas no nível intermédio.

O projeto apresentado na presente dissertação incide sobre o planeamento a médio prazo, mais especificamente na forma como são determinadas as necessidades de materiais para produção, não descurando, contudo, o impacto destas decisões na realização de encomendas das matérias-primas (planeamento a curto-prazo).

2.2. Métodos para envernizamento de embalagens metálicas

A realização de um planeamento adequado, isto é, que permita reduzir desperdícios associados a excesso ou falhas de produção, requer o conhecimento do consumo real de matérias-primas e, se necessário, a sua otimização e controlo. Desta forma, a escolha de equipamentos e processos que permitam a estabilidade dos resultados, e a sua consequente previsão, são fundamentais.

O controlo dos desperdícios nos processos de envernizamento é transversal a indústrias que necessitem de controlar a ocorrência de corrosão nos seus produtos, tais como as de produção de embalagens de dois e três corpos para embalamento de produtos alimentares, bebidas e produtos industriais, a indústria automóvel, a qual experiencia o crescimento mais dinâmico, e a de fornecimento de energia (Pianoforte 2016).

Os desperdícios resultantes dos processos de envernizamento resultam na procura de equipamentos e matérias-primas mais eficientes. Alterações na maquinaria utilizada e o uso de matérias-primas como verniz pó contribuem para o aumento da eficiência de transferência dos processos. Os processos nos quais se utiliza o verniz pó como matéria-prima atingem eficiências muito elevadas quando comparadas às dos processos de envernizamento com *spray*. O envernizamento com pó atinge, tipicamente, valores de eficiência na ordem dos 90%, devido ao facto de este se basear no princípio de atração de cargas opostas e utilizar, portanto, cargas eletrostáticas durante o processo. Para além do referido, devido ao facto de esta ser uma tecnologia recente, quando comparada com as restantes, como o envernizamento com *spray* líquido, os equipamentos são mais avançados e focados na garantia de minimização de desperdícios (WMRC- Division of the Illinois Department of Natural Resources 1998).

Por sua vez, ao envernizamento com recurso ao *spray* de verniz líquido com baixa pressão e elevado volume, e tendo em consideração o equipamento atualmente existente no mercado, encontra-se associada uma eficiência de, aproximadamente, 65%. Este é o valor apresentado nos regulamentos e literatura de fornecedores (Joseph 2009). Nos restantes tipos de *spray*, a eficiência pode assumir valores mais elevados, consoante as condições de aplicação.

2.3. Analítica descritiva e preditiva

Como foi referido na Secção 2.1, o planeamento serve-se de ferramentas estatísticas para o executar das suas funções.

Existem dois tipos de procedimentos estatísticos para controlar e monitorizar operações e resultados: a estatística descritiva e a analítica inferencial. As ferramentas de estatística descritiva são utilizadas para recolher, agrupar e analisar conjuntos conhecidos de dados, denominados de população, através da atribuição de modelos descritivos ou famílias de distribuições apropriadas (Vergura, et al. 2009). Por sua vez, a inferência é um ramo da estatística que é adotado sempre que se torna necessário prever o comportamento de populações tendo por base amostras (Vergura, et al. 2009). Esta é, então, utilizada para determinar probabilidades de características de população tendo em consideração as características da amostra e auxilia na determinação de relações entre variáveis independentes e dependentes.

Uma das ferramentas de estatística preditiva mais utilizada é a regressão, a qual auxilia na determinação de relações causa-efeito. Para tal, devem ser reunidos dados para as variáveis de interesse e, posteriormente, deve ser aplicada a regressão, de forma a estimar o efeito quantitativo das variáveis causais sobre a variável de resposta. Deve-se, também, avaliar a significância estatística das relações estimadas, isto é, o grau de confiança de que a relação estimada se aproxima da real (Sykes 1993).

Se a análise for realizada a um único fator explicativo, a regressão denomina-se de regressão simples. Por outro lado, se existirem duas ou mais variáveis independentes, a regressão é denominada de múltipla.

Relativamente ao método como os dados são ajustados, estes podem ser ajustados através de regressões lineares ou não-lineares.

Um modelo linear, na sua forma mais simples, pode ser definido como:

$$\text{Resposta} = (b_0 + b_1 \times X_{1i} + b_2 \times X_{2i} + \dots + b_n \times X_{ni}) + \text{Erro}_i \quad (1.1)$$

Onde:

b_0 , é o valor de resposta quando todas as variáveis independentes são nulas;

b_1, b_2, \dots, b_n , são os coeficientes das variáveis independentes;

$X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$, são as variáveis causais, e,

Erro_i , é o erro associado à previsão.

Existem quatro pressupostos que, após verificados, justificam o ajuste dos dados a um modelo de regressão linear (Field 2012):

- Aditividade e linearidade: a variável de resposta deve, na realidade, estar linearmente relacionada aos fatores explicativos, de tal forma que a sua relação pode ser resumida a uma linha reta. Para além do referido, se existirem várias variáveis independentes, o efeito combinado das mesmas é descrito através da adição dos efeitos individuais.
- Normalidade: para que os coeficientes da regressão sejam ótimos, os erros devem ser normalmente distribuídos, Para além disso, para que o valor de prova e os intervalos de confiança sejam os corretos, a distribuição da amostra deve ser normal.
- Independência dos erros: para quaisquer duas observações, os resíduos não devem estar correlacionados. A violação deste pressuposto leva a que os valores associados aos intervalos de confiança e aos testes de significância sejam inválidos.

- Homogeneidade das variâncias: é necessário que as variâncias sejam constantes de modo a garantir que os coeficientes determinados no modelo são os ótimos e para que os valores resultantes dos testes de significância e dos intervalos de confiança sejam precisos.

Por sua vez, a regressão não-linear é caracterizada pelo facto da equação de previsão depender de forma não-linear de um ou mais parâmetros desconhecidos. Enquanto as regressões lineares são utilizadas para construir modelos empíricos, recorre-se a regressões não-lineares, tipicamente, quando se acredita que a relação entre a variável de resposta e as independentes segue uma forma particular e específica (Smyth 2002).

Segundo o Prof. Andy Field (2012), são várias as transformações não-lineares que podem ser utilizadas para corrigir problemas verificados nos modelos lineares:

- Transformação logarítmica: utilizando o logaritmo de um conjunto de dados, a cauda direita da distribuição é comprimida. Esta é, também, útil para transformar relações curvilíneas em lineares. A transformação em causa apresenta a desvantagem de não ser aplicável aos valores de 0 e negativos, havendo necessidade de adicionar uma constante aos dados antes de ser realizada a transformação (Box e Cox 1964);
- A transformação de um conjunto de dados através da raiz quadrada é aplicada em casos em que se revele necessário reduzir assimetrias positivas e curtoses positivas, desigualdades entre variâncias e falta de linearidade entre as variáveis. Esta transformação tem um maior efeito quando aplicada sobre valores reduzidos. Consequentemente, o cálculo da raiz quadrada de valores elevados permite que estes se aproximem de um valor central, tal como se verifica na transformação logarítmica;
- Transformação recíproca: é adequada, tal como as anteriores, para eliminar assimetrias, curtose positiva e diferença de variâncias. Dividindo 1 por cada valor, a variável transformada irá apresentar limites mais baixos e os números elevados aproximar-se-ão de 0.

O recurso a análises de regressão linear é comum a praticamente todas as indústrias e utilizado em estudos de diferentes âmbitos: modelação de consumos de energia elétrica (Tso e Yau 2007) e (Westphal e Lamberts 2007), análise de performances económico-financeiras (BUŞE, GANEA e CÎRCIUMARU 2009) e previsão de despesas de saúde para seguradoras (Loginov, Marlow e Potruch 2012). Isto deve-se ao facto de este tipo de regressão, tipicamente, mostrar resultados promissores e de considerável precisão, sendo, também, de fácil implementação quando comparado com outros métodos (Tso e Yau 2007).

Na realização do presente projeto, para modelação do consumo de uma das matérias-primas, foi conduzida uma análise de regressão linear.

3 Descrição do problema

No presente capítulo pretende-se apresentar o contexto no qual o projeto foi realizado. Para isso, é inicialmente identificada a metodologia adotada pela Colep Portugal, para a estimativa das quantidades consumidas de material durante a produção das encomendas e, é explicado como são detetados os desvios entre os consumos planeados e os reais. Na segunda secção, a linha de produção onde foi desenvolvido o projeto, e a área na qual esta se insere, são apresentadas. Por fim, a secção 3.3 é dedicada à descrição dos processos produtivos existentes na linha e à identificação das matérias-primas sob análise.

3.1. Determinação das quantidades estruturais esperadas de consumo

As quantidades esperadas de consumo são estimadas na Área Técnica da Colep, tendo por base as Fichas Técnicas dos vernizes, disponibilizadas pelos fornecedores das mesmas.

Na Ficha Técnica de um verniz é possível encontrar informação referente à sua densidade, à espessura de aplicação, à temperatura a que deve ser curado, percentagem de sólidos existentes (no caso dos vernizes líquidos) e, também, sobre o peso do verniz húmido, isto é, antes de ser curado. Esta informação é essencial para determinar as quantidades teóricas de consumo. No Anexo D, encontra-se disponível um exemplar de Ficha Técnica utilizada durante o projeto.

Com a informação referida anteriormente, obtêm-se os limites inferior e superior de consumo. Estes valores representam a quantidade mínima e máxima que deve ser aplicada para que seja garantida uma boa aplicação e, consequentemente, evitada a formação de corrosão.

Os valores máximos obtidos são uniformizados, em termos de unidades, e, então, são convertidos em valores de consumo para 1000 unidades produzidas. Sob esta forma, estes valores designam-se de quantidades estruturais de consumo. Ou seja, os consumos planeados para produção correspondem ao valor máximo de consumo para garantia da qualidade da aplicação.

De seguida, as quantidades estruturais são transmitidas ao departamento de Compras da Colep Portugal, que é responsável por os inserir em SAP.

Seguindo o padrão definido pela empresa, de definir consumos para 1000 unidades, todos os valores apresentados para consumo, salvo indicação contrária, irão responder a estas unidades.

O departamento de Compras é, também, responsável por detetar desvios relativamente ao consumo estimado. Esta deteção é realizada da seguinte forma:

1. Considerando a informação recebida da Área Técnica e o número de unidades fabricadas em cada ordem de produção, são determinadas as necessidades de consumo, ou seja, a quantidade (em gramas) de matéria-prima necessárias à produção;

2. Desta forma, são definidas, automaticamente, na base de dados, as quantidades que devem sair do armazém para o chão-de-fábrica, ou seja, o consumo estimado para fabrico;
3. Mensalmente, este departamento solicita aos responsáveis dos armazéns, que seja feita uma revisão do material existente em inventário. Este é o único controlo realizado de fluxo de materiais, na medida em que não são registadas as saídas das matérias-primas, do armazém;
4. Através da revisão, é possível verificar disparidades relativamente ao que havia sido estimado, ou seja, se houve mais ou menos material a sair do armazém para a fábrica, sendo, consequentemente, feitos os acertos em SAP;
5. Quando os desvios ao consumo esperado são consideráveis e repetitivos, o departamento de Compras envia notificação para a Área Técnica, de modo a que se investigue as causas dos desvios.
6. As encomendas aos fornecedores de matérias-primas são realizadas, também automaticamente, pelo sistema, quando o nível de inventário da empresa atinge o valor de segurança.

Este método apresentado pela empresa para deteção de desvios e realização de encomendas, em determinados momentos, revela-se falível. A dessincronização entre os valores existentes em armazém e os considerados na base de dados da empresa leva a que, no momento de realização de acertos negativos, tipicamente consideráveis, o responsável do Departamento de Compras se depare com valores de inventário muito inferiores ao nível de segurança. Desta forma, a realização da encomenda de material torna-se premente e a empresa incorre em maiores custos produtivos. Por outro lado, quando a empresa consome menos que o planeado, na base de dados da empresa são determinadas necessidades de material desajustadas, os níveis teóricos de inventário vão diminuindo e são encomendados materiais de forma desnecessária. Neste caso, a organização incorre, também, em maiores custos de produção.

O controlo, em tempo real, da saída de material do armazém para o chão-de-fábrica através, por exemplo, da leitura dos códigos de barras presentes nas matérias-primas e sincronização com a base de dados, permitiria a minimização dos problemas anteriormente identificados.

3.2. Caraterização da área e da linha de produção

Considerando o curto período de tempo para realização do projeto, este foi desenvolvido apenas numa única linha, a 23. Esta é dedicada à produção de dois tipos de formatos de embalagens industriais (dois diâmetros diferentes): TC 286 e TC 292. Dentro de cada um destes diâmetros, existem várias alturas de embalagens produzidas. Na Figura 5, encontram-se identificados todos os modelos produzidos na linha, perfazendo um total de 17 formatos distintos.

TC 286	TC 292
<ul style="list-style-type: none">• TC 286x215• TC 286x236• TC 286x287• TC 286x300• TC 286x320• TC 286x370• TC 286x400• TC 286x450	<ul style="list-style-type: none">• TC 292x240• TC 292x295• TC 292x310• TC 292x335• TC 292x366• TC 292x378• TC 292x399• TC 292x440• TC 292x448

Figura 5- Formatos produzidos na linha 23

A linha em análise apresenta um elevado nível de automatização, havendo intervenção humana apenas para alimentação da máquina de soldadura, verificação e embalagem das paletes e afinação dos equipamentos. Para além disso, tem a particularidade de produzir embalagens de grandes diâmetros e alturas, com variação de diâmetro ao longo do corpo, provocada através da passagem pela expansora.

A linha 23 encontra-se inserida, então, numa área produtiva de *General Line*, juntamente com outros três linhas: a 1, a 5 e a 10.

A área produtiva em questão funciona com dois tipos de laboração: duas linhas, entre elas a 23, funcionam a três turnos e as restantes trabalham a dois turnos, não havendo, neste caso, atividade durante a noite (24:00H às 7:00H). Todas as linhas param ao fim-de-semana, havendo produção nesses dias, unicamente, quando se verificam picos de procura.

3.3. Descrição dos processos

Uma embalagem industrial produzida na linha 23 é sujeita a um processo de fabrico, cujas fases principais se encontram indicadas na Figura 6.

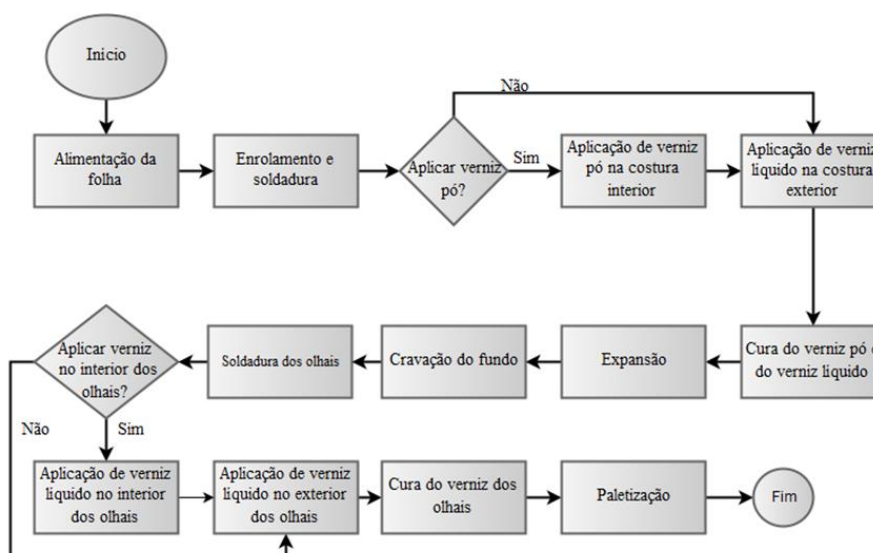


Figura 6- Fluxograma do processo produtivo da linha 23

O processo inicia-se com a alimentação manual da máquina de soldadura com folha-de-flandres, proveniente da área de Litografia. De seguida, a folha é enrolada e soldada, dando origem à virola (nome técnico utilizado para folha-de-flandres após estas etapas). Consecutivamente, é necessário verificar se a reserva interior resultante da soldadura deve, ou não, ser envernizada com verniz pó. Este é um processo no qual o pó, emitido pela pistola, adere à reserva graças à carga eletrostática do pó e à textura rugosa da reserva e, no qual, há a regulação da pressão do ar, do caudal e do sopro de ar. Estes parâmetros estão indicados no Anexo E. Na Figura 7 está representado, respetivamente, a pistola de *spray* utilizada no processo de envernizamento eletrostático e o aspeto do verniz pó na reserva interior de soldadura.



Figura 7- Representação de envernizamento eletrostático e soldadura revestida com verniz pó, respetivamente

O processo de envernizamento com verniz pó é altamente eficiente. O desperdício verificado resulta da colocação em excesso de verniz pó que leva a que este se disperse em torno da reserva, o que pode originar problemas de qualidade. Tipicamente, não existem perdas para o exterior da embalagem, nem para outras áreas interiores que não a costura.

A etapa seguinte do processo é o envernizamento da costura exterior. Este é feito através de uma pistola para aplicação de *spray*. Neste processo é possível regular parâmetros como a pressão de saída do verniz da pistola, a pressão da tinta e a altura da pistola em relação à costura da virola. Estes parâmetros encontram-se identificados no Anexo E. Após a aplicação dos vernizes, estes são curados. O processo de cura deve assegurar que os vernizes das reservas são curados sem deteriorar o esquema litográfico da virola. Desta forma, é necessário haver regulação de tempos de passagem da virola no forno e da temperatura do mesmo. A Figura 8 mostra, respetivamente, a pistola de *spray* utilizada para o envernizamento da costura exterior e o forno utilizado para a cura.



Figura 8-Equipamento para revestimento de costura exterior e forno de cura, respetivamente

De seguida, a virola é sujeita a expansão para que haja variação de diâmetro e este seja superior no topo, em relação ao fundo. Isto permite que as embalagens sejam empilhadas mais facilmente. Segue-se a cravação do fundo na virola, sendo que, após esta etapa, a virola assume a forma de embalagem. A soldadura dos olhais na embalagem (dois por embalagem), a aplicação do arco, a realização do teste de estanquidade e a verificação de se há, ou não, aplicação de verniz na parte interior dos olhais, são os passos que se sucedem. Se houver aplicação, esta ocorre simultaneamente nas partes exterior e interior dos mesmos. Neste processo, são utilizadas pistolas de *spray* de baixa pressão (tecnicamente denominadas *LPHV-Low Pressure, High Volume*). Para além do referido, verifica-se o ajuste manual da inclinação e da altura das pistolas de *spray* em relação ao alvo a envernizar e regulação, também manual, da pressão das mesmas. Na Figura 9 mostra-se a parte exterior de um olhal soldado na embalagem e o equipamento utilizado para o seu envernizamento.



Figura 9- Olhal soldado na embalagem e equipamento utilizado para o seu revestimento, respetivamente

As etapas seguintes do processo são a cura do verniz dos olhais, a paletização e o embalamento realizado de forma manual.

A verificação, por parte dos operadores, sobre se deve, ou não, haver aplicação de verniz pó ou aplicação de verniz líquido no interior dos olhais é feita através de Ordens de Produção colocadas na linha diariamente. Estas contêm, também, informação relativamente às quantidades teóricas de vernizes a utilizar, provenientes do SAP. No Anexo F, encontra-se um exemplo de Ordem de Produção.

Para além disso, no início de cada ordem de produção, devem ser realizados testes de qualidade em laboratório, de modo a verificar se a afinação dos equipamentos origina a aplicação correta dos vernizes.

No presente projeto, pretende-se estudar o consumo dos vernizes utilizados:

- Para revestimento da costura interior;
- Na reserva exterior de soldadura/ costura exterior;
- Para revestimento exterior do olhal.

Considerou-se somente o revestimento exterior do olhal, devido ao facto de este ter um peso, no consumo da matéria-prima, muito superior ao revestimento interior. Isto resulta de todas as embalagens revestidas interiormente serem, também, envernizadas exteriormente, mas muitas das que são revestidas no exterior, não o serem na parte interior.

Após recolha de informação relativa às encomendas, definiu-se que o consumo para revestimento exterior corresponde a $\frac{3}{4}$ do consumo total.

4 Métodos para estimativa dos consumos previstos- situação inicial

Embora os vernizes em análise fossem já utilizados para a produção, houve necessidade de recalculer valores teóricos de consumo para todos os vernizes, isto é, os valores que asseguram a qualidade da aplicação, desprezando desperdícios associados ao processo. De modo a investigar o problema desde a raiz, isto é, para analisar a precisão dos valores existentes em SAP, foram recalculados os valores teóricos de consumo. O facto de não ter sido possível encontrar informação relativa ao método ou validade dos pressupostos assumidos para calcular estes valores no passado gerou dúvidas relativamente à exatidão dos mesmos, o que justificou, também, a decisão de recalculer os consumos teóricos.

Calculando estes valores previstos de consumo foi possível ter um entendimento inicial sobre o porquê de se verificarem desvios ao consumo: se o novo valor previsto fosse superior ao considerado no momento em SAP, então seria mais facilmente justificável a ocorrência de consumos superiores, por exemplo.

Os consumos teóricos foram, como explicado anteriormente, calculados tendo por base as Fichas Técnicas dos vernizes. Na Tabela 1, encontra-se sintetizada a informação relevante para a estimativa dos consumos, para cada um dos vernizes em análise.

Sintetizada a informação relevante, foi necessário definir as áreas de aplicação de verniz e, assim, calcular a quantidade (em gramas) de verniz teórica necessária para cada modelo.

Tabela 1- Dados considerados para cálculo de consumos teóricos

<i>Propriedades</i>	Reserva Exterior		Reserva interior		Olhais
Densidade (g/cm ³)	0,97		1,4		1,06
Espessura (µm)	9,28	11,34	70	90	-
Peso verniz húmido (g/m ²)	9	11	126		10
Tolerâncias peso húmido	-	-	28		-
Limites peso verniz húmido (g/m ²)	9	11	100	150	10
% de sólidos	30		-	-	65 67
Tolerância de % de sólidos	1		-	-	
Limites da % total de sólidos	30		-	-	65 67

Seguindo o método adotado na empresa, o valor estimado de consumo a inserir em SAP corresponderia às quantidades estruturais associadas ao limite superior de consumo calculado.

Dado este conhecimento, foi possível identificar uma falha no método da empresa: os valores existentes em SAP consideravam, apenas, os valores necessários para que o alvo fosse bem coberto, de modo a garantir a qualidade da aplicação, mas desprezavam o facto de alguns

processos apresentarem valores de eficiências muito distintas de 100%, realidade facilmente concluída apenas por observação em linha.

O método utilizado pela empresa foi, por isso, questionado e, de acordo com a análise realizada no presente projeto, poderá ser ajustado se se justificar.

Dado não haver conhecimento relativamente às folgas mais adequadas para cobertura dos desperdícios supramencionados, foi inicialmente adotado o método da empresa. Através de análises de desperdícios e testes de qualidade, estas folgas serão identificadas, e, então, será ajustado o modelo da empresa.

Para cada tipo de verniz e para cada modelo identificado na Figura 5, foram calculados valores médios teóricos. Nas secções 4.1, 4.2 e 4.3 é explicado, com maior detalhe, o método utilizado após recolha de informação nas Fichas Técnicas.

4.1. Consumos teóricos de verniz pó para revestimento

A área de aplicação de verniz foi determinada seguindo um manual do fornecedor, que afirma que, para além da largura da reserva de soldadura, se devem considerar, no mínimo, mais 2 mm para cada lado da mesma, de modo a garantir a completa cobertura da reserva e, assim, uma boa aplicação. A largura da reserva de soldadura foi medida em linha e considerou-se um valor médio de 8 mm (ver Figura 10).



Figura 10 - Esquema de área de aplicação de verniz pó

De modo a considerar possíveis desvios que possam ocorrer, da reserva em relação à pistola de aplicação de verniz, ao longo do transporte da virola, assumiu-se uma largura total de aplicação de 15mm. A adequabilidade deste valor foi discutida com o gestor da área de produção e, mais tarde, assegurada pelo mesmo.

A área, para cada formato, foi determinada considerando a largura de aplicação supramencionada e a altura total da embalagem, superior à identificada na Figura 5. As alturas de embalagem ilustradas nesta figura, correspondem às alturas finais de embalagem, depois de sujeitas a processos de cravação de fundo, nos quais se verifica dobragem da embalagem e, conseqüentemente, redução da altura da mesma. As alturas consideradas, então, nesta fase do processo, correspondem às alturas das virolas, as quais se encontram identificadas na Tabela 2 e na Tabela 3.

De seguida, após determinação da área de aplicação de verniz para cada modelo, procedeu-se ao cálculo do limite inferior e do limite superior de gramas consumidas. Para o efeito, utilizou-se as expressões (1.1) e (1.2):

$$LI_1 = A \times L.I.P.H. \times 1000 \quad (1.1)$$

Onde

LI_1 , é o limite inferior de gramas de verniz consumidas para 1000 unidades de produto

A, é a área de aplicação num determinado formato, e,

L.I.P.H., é o limite inferior de peso do verniz húmido, identificado na Tabela 1.

$$LS_1 = A \times L.S.P.H. \times 1000 \quad (1.2)$$

Onde:

LS_1 , é o limite superior de gramas de verniz consumidas para 1000 unidades de produto

A, é a área de aplicação num determinado formato, e,

L.S.P.H., é o limite superior de peso do verniz húmido, identificado na Tabela 1.

Na Tabela 2 e na Tabela 3 encontram-se, juntamente com as alturas das virolas, os novos valores estimados para consumo de verniz pó, para os formatos TC 286 e TC 292, respetivamente.

Tabela 2- Consumo teórico de verniz pó para TC 286

Formato	Altura (m)	Área (m²)	Valor mínimo teórico (g)	Valor máximo teórico (g)
TC 286x215	0,25	0,0037	369,00	553,50
TC 286x236	0,27	0,0041	405,00	607,50
TC 286x287	0,32	0,0048	481,50	722,25
TC 286x300	0,33	0,0050	501,00	751,50
TC 286x320	0,35	0,0053	531,00	796,50
TC 286x370	0,40	0,0061	606,75	910,13
TC 286x400	0,44	0,0065	652,50	978,75
TC 286x450	0,49	0,0073	729,00	1093,50

Tabela 3- Consumo teórico de verniz pó para TC 292

Formato	Altura (m)	Área (m²)	Valor mínimo teórico (g)	Valor máximo teórico (g)
TC 292x240	0,27	0,0041	411,00	616,50
TC 292x295	0,33	0,0049	493,50	740,25
TC 292x310	0,34	0,0052	516,00	774,00
TC 292x335	0,37	0,0056	558,00	837,00
TC 292x351	0,39	0,0058	583,50	875,25
TC 292x366	0,40	0,0061	606,75	910,13
TC 292x378	0,42	0,0062	624,75	937,13
TC 292x399	0,44	0,0066	655,50	983,25
TC 292x440	0,48	0,0072	718,50	1077,75
TC 292x448	0,49	0,0073	730,50	1095,75

4.2. Consumos teóricos de verniz para reserva exterior

O método utilizado para o cálculo de consumos teóricos do verniz da reserva exterior foi semelhante ao descrito na secção 4.1, interessando, contudo, fazer duas ressalvas.

É importante referir que a largura de aplicação de verniz, neste caso, foi determinada tendo por base considerações diferentes. Primeiramente, de modo a assegurar a integridade do esquema litográfico exterior da embalagem, isto é, que o verniz da reserva exterior não se

sobrepõe ao desenho, prejudicando o aspeto visual da embalagem, e que o esquema não se queima durante a cura, a largura foi minimizada, tendo sido adicionados 1 mm a cada lado da reserva, de 7.2 mm. Assumiu-se, portanto, uma largura de aplicação de 9.2 mm.

Em segundo lugar, interessa mencionar que se teve de ter em consideração a percentagem de sólidos contida no verniz (informação presente na Tabela 1) dado que este se encontra em estado líquido.

Desta forma, para a estimativa dos valores teóricos indicados na Tabela 4 e Tabela 5 e, para cada formato, foram utilizadas as expressões (1.3) e (1.4):

$$LI_2 = A \times (1/T.S.) \times L.I.P.H \quad (1.3)$$

Onde:

LI_2 , é o limite inferior de gramas de verniz consumido para 1000 unidades de embalagens com reserva exterior envernizada

A, é a área de aplicação para determinado formato de embalagem

TS, é a percentagem total de sólidos presente no verniz, e,

L.I.P.H. é o limite inferior de peso do verniz húmido.

$$LS_2 = A \times (1/T.S.) \times L.S.P.H \quad (1.4)$$

Onde:

LS_2 , é o limite superior de gramas de verniz consumido para 1000 unidades de embalagens com reserva exterior envernizada

A, é a área de aplicação para determinado formato de embalagem

TS, é a percentagem total de sólidos presente no verniz, e,

L.S.P.H. é o limite superior de peso do verniz húmido.

Tabela 4- Consumo teórico esperado para envernizamento da costura exterior para TC 286

Formato	Altura (m)	Área (m ²)	Valor mínimo teórico (g)	Valor máximo teórico (g)
TC 286x215	0,25	0,0023	70,24	80,31
TC 286x236	0,27	0,0025	77,09	88,14
TC 286x287	0,32	0,0030	91,65	104,79
TC 286x300	0,33	0,0031	95,36	109,03
TC 286x320	0,35	0,0033	101,07	115,56
TC 286x370	0,38	0,0035	107,21	122,58
TC 286x400	0,40	0,0037	115,35	131,89
TC 286x450	0,44	0,0040	124,20	142,01

Tabela 5- Consumo esperado para verniz de revestimento de costura exterior, para TC 292

Formato	Altura (m)	Área (m ²)	Valor mínimo teórico (g)	Valor máximo teórico (g)
TC 292x240	0,27	0,0036	110,54	126,39
TC 292x295	0,33	0,0043	132,73	151,76
TC 292x310	0,34	0,0045	138,79	158,68
TC 292x335	0,37	0,0048	150,08	171,60
TC 292x351	0,39	0,0051	156,94	179,44
TC 292x366	0,40	0,0053	163,19	186,59
TC 292x378	0,42	0,0054	168,04	192,13
TC 292x399	0,44	0,0057	176,31	201,58
TC 292x440	0,48	0,0062	193,25	220,96
TC 292x448	0,49	0,0063	196,48	224,65

4.3. Consumos teóricos de verniz para olhais

Independentemente do formato da embalagem, a referência de olhal utilizado é sempre a mesma. Foi, portanto, necessário, considerar um único desenho deste material para calcular a área de aplicação, o qual é ilustrado na Figura 11.

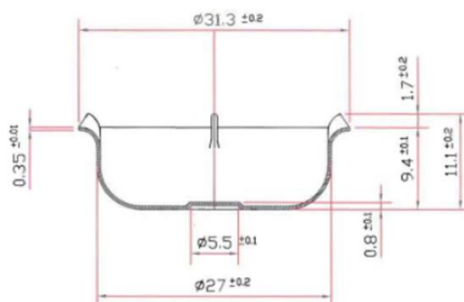


Figura 11- Esquema da referência de olhal utilizado no processo

No que respeita ao envernizamento exterior dos olhais, dado que se verificam condições de aplicação semelhantes para o exterior e interior do componente, estas foram determinadas tendo em consideração a importância do revestimento interior, isto é, o facto de que os orifícios resultantes da soldadura devem ficar sempre totalmente cobertos. A Figura 12 ilustra os orifícios resultantes da soldadura do olhal na embalagem.

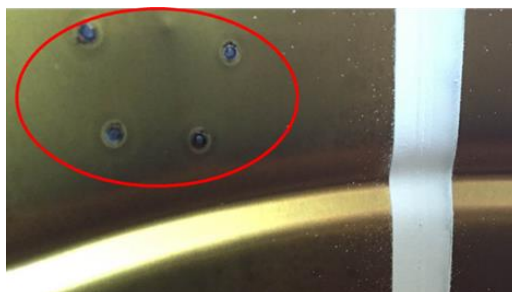


Figura 12- Orifícios resultantes da soldadura do olhal

Foi definida uma área de aplicação circular, de diâmetro 50 mm, isto é, uma folga de 20 mm. Estes valores de área de aplicação foram determinados após reuniões com responsáveis de produção, nas quais se chegou a um consenso relativamente ao número considerado.

Como o equipamento presente na linha é constituído por pistolas de baixa pressão de emissão, as quais atingem em média uma eficiência de transferência de 65%, como mencionado

anteriormente na secção 2, foi considerado um desperdício de 35%. Mais uma vez, é fundamental notar que estas considerações foram feitas como medidas de segurança para garantia da qualidade do envernizamento interior do olhal e para se obter valores teóricos mais adequados e realistas.

Desta forma, recorrendo à expressão (1.5), obteve-se o valor previsto de consumo apresentado na Tabela 6.

$$Vt_3 = A \times (1/P.S.M.) \times 2000 \times 1.35 \times P.H. \quad (1.5)$$

Onde:

V_{t3} , é o valor teórico de consumo para envernizamento dos olhais de 1000 embalagens

A, é a área de aplicação de verniz

P.S.M., é a percentagem média de sólidos presente no verniz, e,

P.H, é o peso de verniz húmido.

Tabela 6- Consumo previsto de verniz para proteção de olhais

Área (m ²)	Valor teórico de consumo (g)
0,0020	83,60

5 Análise dos desvios no consumo de verniz pó

O estudo das discrepâncias no consumo do verniz pó contempla, inicialmente, a comparação entre os valores de consumo planeados pela empresa, os determinados durante a realização do projeto e, também, os verificados em linha, os quais se encontram associados à afiança da qualidade do produto. Devido à reduzida adequabilidade do método utilizado pela empresa para determinação dos consumos teóricos (ver Secção 3.1), no presente capítulo é apresentada uma análise a um possível novo método de inferência.

De modo a ser realizada uma análise de gastos associados aos desvios analisados, foram verificados os preços das matérias-primas em análise. O valor identificado na Tabela 7 corresponde ao preço, em euros, por quilograma de verniz.

Tabela 7- Preço do verniz pó em análise

Verniz	Preço
Verniz para revestimento costura interior	7.49€

5.1. Quantificação dos desvios

Primeiramente, foram verificadas as diferenças entre os valores máximos estimados na fase do projeto, representados na Secção 4.1, que como foi referido anteriormente corresponderiam ao valor a ser inserido em SAP como consumo esperado, e os vigentes na empresa. As diferenças encontram-se representadas na Figura 13, para o formato TC 286, e na Figura 14 para o formato TC 292.

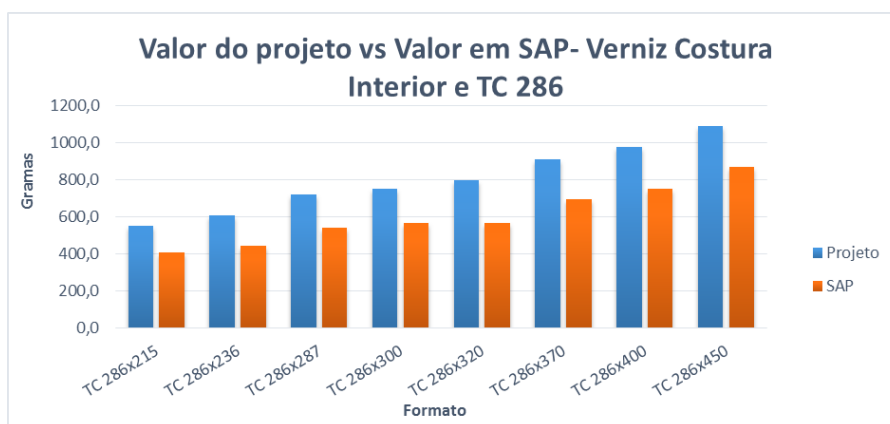


Figura 13- Diferenças entre consumo estimado no projeto e na empresa, para TC 286

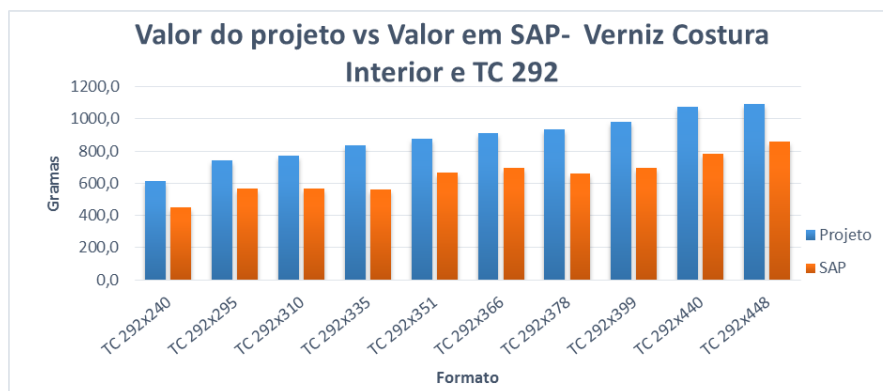


Figura 14- Diferenças entre consumo estimado no projeto e na empresa, para TC 292

Através destas figuras, foi verificada a inadequabilidade da informação existente em SAP.

As estimativas existentes na base de dados revelaram-se inferiores aos estimados no projeto em cerca de 25%, havendo situações em que a discrepância atingiu os 40%. Assim sendo, foi possível ter uma ideia inicial do porquê dos acertos negativos realizados anteriormente: de modo a ser garantida a qualidade do produto, a qual é verificada em linha, foi necessário consumir mais que o previsto.

A veracidade desta ilação foi verificada considerando 60 consumos recolhidos na linha de produção, isto é, 60 valores reais de consumo.

Interessa referir que os valores teóricos existentes em SAP, aquando da realização do projeto, resultaram do facto de ser ter transposto os limites de especificação (que correspondem ao peso do verniz húmido) do verniz pó anteriormente utilizado para o atual. Estes limites eram 70-110 g/m².

De modo a verificar que estas especificações não eram as mais adequadas, corroborando as conclusões retiradas anteriormente, os consumos reais foram calculados nas mesmas unidades que os limites de especificação, e foram designados de gramagem. O método utilizado para cálculo do consumo encontra-se explicado no Anexo G.

Comparando a gramagem com os limites de especificação de 70-110 g/m², Figura 15, foi possível concluir que durante o envernizamento das costuras interiores, os limites de especificação não eram cumpridos. A análise numérica descritiva encontra-se no Anexo H.

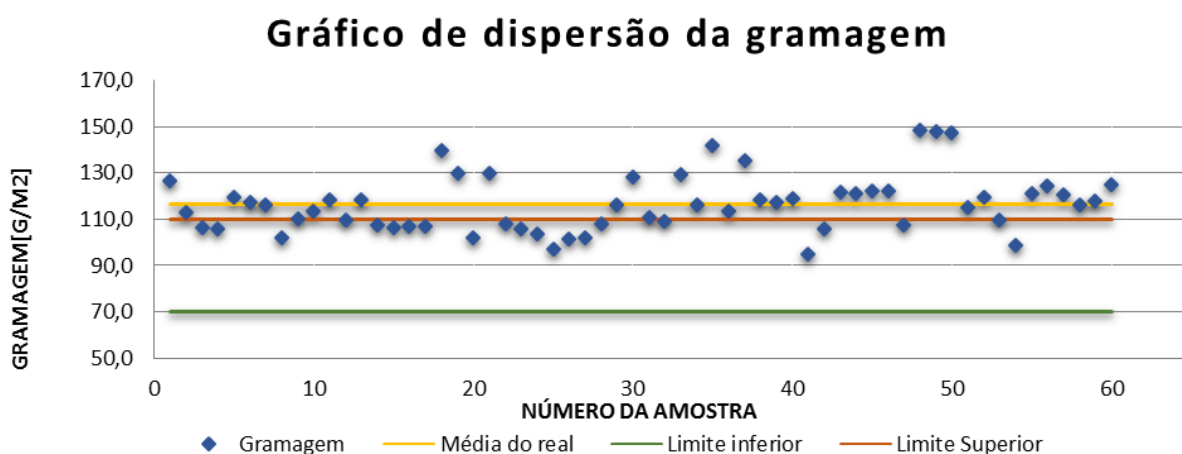


Figura 15- Diagrama de dispersão da gramagem

Dois factos interessantes foram verificados:

- A média dos valores de gramagem obtidos por amostragem revelou-se superior ao valor máximo de especificação;
- O valor mínimo obtido foi de 95 g/m², superior ao valor médio das especificações (90 g/m²).

Como cerca de metade dos valores de gramagem se situava abaixo do limite de 110 g/m², considerado para determinação do consumo teórico, e metade se situava acima do mesmo, os consumos variavam positiva e negativamente em relação ao que havia sido estimado.

Contudo, dado que todos os dados abaixo de 110 g/m² se situavam muito próximos do mesmo, foi possível concluir que a empresa estava a operar numa situação limite. Por outro lado, os consumos superiores ao esperado eram, em algumas situações, consideravelmente superiores.

Os desvios na gramagem têm repercussões diretas nos desvios em relação ao consumo estimado e, posteriormente, no controlo sobre os inventários. Na Figura 16, encontram-se representados os consequentes desvios de consumo para os modelos mais produzidos na linha onde foi realizado o projeto.

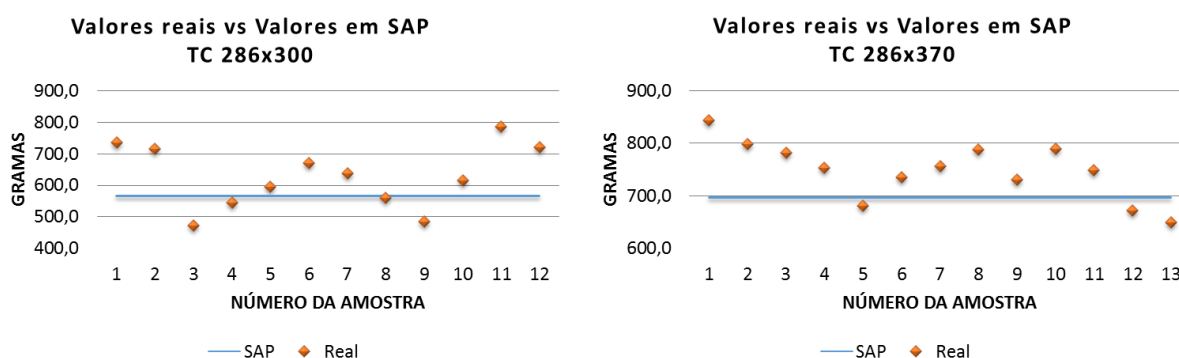


Figura 16- Diferenças entre consumo real e estimado para modelos mais produzidos

Embora o impacto financeiro dos desvios não seja a principal motivação para a realização do presente projeto, o seu valor médio foi determinado, encontrando-se representado na Tabela 8. Estes valores foram calculados tendo por base as unidades produzidas, na linha 23, durante o ano de 2015, que requerem a aplicação de verniz pó.

Tabela 8- Custo anual dos desvios de consumo de verniz pó na linha 23

<i>Medida de análise</i>	<i>Verniz pó para revestimento da costura interior</i>
Custo aproximado estimado (€/ano)	7150€
Custo real aproximado (€/ano)	7970€
Custo desvio aproximado (€/ano)	820€

No entanto, verificou-se que a aplicação do atual método de estimativa de consumo com os valores corretos de especificação geraria valores estimados muito superiores aos verificados em linha, e que garantem a qualidade da aplicação. Neste caso, estar-se-ia a estimar em excesso, incorrendo em acumulação de material em inventário e, consequentemente, em custos desnecessários.

A Figura 17 ilustra, então, as diferenças resultantes das novas estimativas.

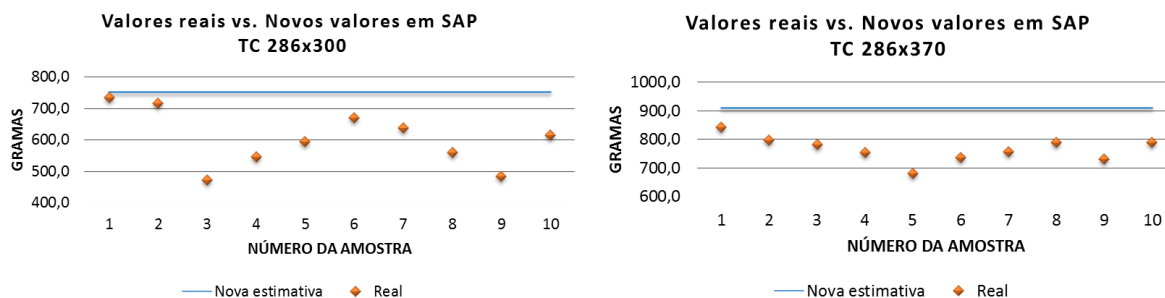


Figura 17- Diferenças entre novas estimativas e consumo real

Desta forma, revelou-se necessário definir um modelo mais preciso de estimativa de consumos.

5.2. Apresentação de um novo modelo de consumo

A determinação do novo modelo foi realizada, assumindo que a quantidade de desperdícios associada ao processo não é considerável. O processo é tipicamente muito eficiente, sendo que, para além disso, a disposição da embalagem e da pistola de envernizamento impede a dispersão de verniz para o exterior deste sistema. No entanto, devido ao facto deste material ser essencial para a garantia da qualidade do produto, assumiu-se uma margem de segurança de 10%. Para além do referido, teve-se por base um conjunto de valores de gramagem que asseguraram a qualidade da aplicação.

O modelo a considerar para planeamento do material resulta da condução de uma análise de regressão linear baseada em fatores explicativos, e assume a forma apresentada na expressão (1.6).

$$\text{Consumo}[g/m^2] = \text{Valor Estimado} \times 1.1 \quad (1.6)$$

5.3. Levantamento dos fatores explicativos de variação de consumo

Após sucessivas reuniões com o responsável da área produtiva na qual se insere a linha 23, com supervisores da linha, técnicos de Qualidade e operadores, isto é, com quem melhor conhece o processo e as suas falhas, foram identificados os possíveis fatores explicativos da variação do consumo. A informação foi, de seguida, sintetizada num diagrama de Causa e Efeito, representado na Figura 18.

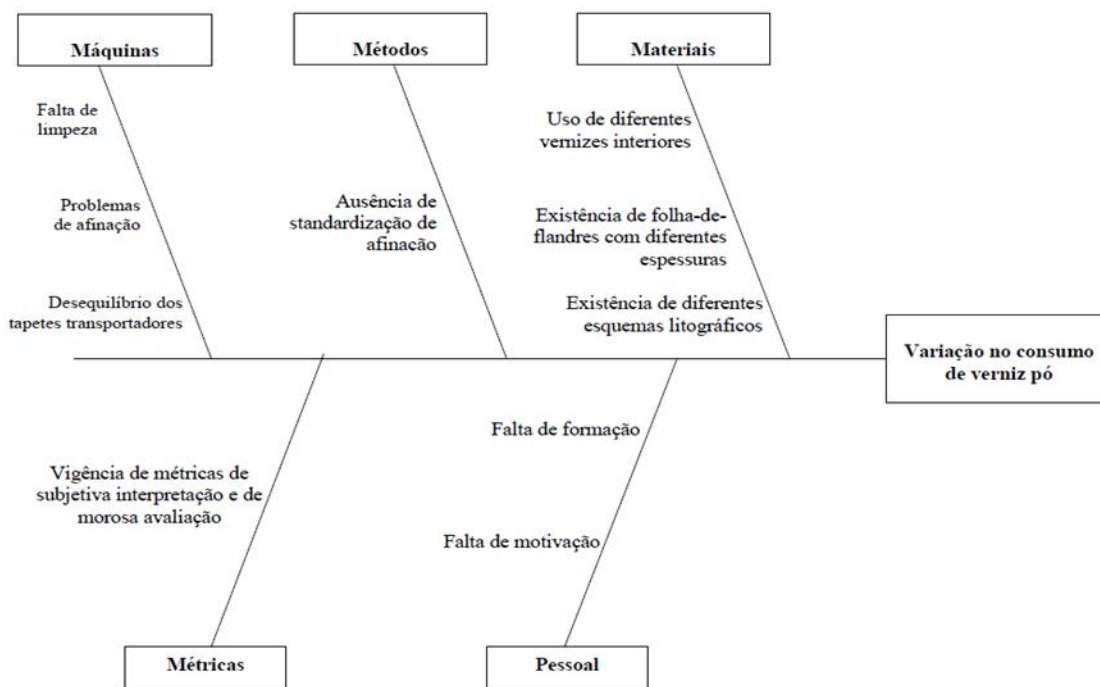


Figura 18- Diagrama de Causa e Efeito para variações de consumo de verniz pó

No que diz respeito aos equipamentos utilizados para o processo de envernizamento da reserva interior e para a realização da soldadura, foi possível identificar três limitações que afetavam o consumo de verniz pó:

- Limitação relativa ao processo de soldadura: durante a soldadura da folha-de-flandres enrolada, depositavam-se, nas costuras, resíduos resultantes desse processo, os quais eram de difícil eliminação. De modo a que não ocorresse corrosão, era necessário que estes resíduos fossem cobertos, o que requeria uma maior quantidade de verniz aplicado.
- Restrição referente ao processo de transporte da virola: à medida que a virola era transportada ao longo do braço da pistola de envernizamento, verificava-se que ocorriam desvios da reserva relativamente ao bocal da pistola. Assegurando que toda a reserva era revestida e que existiam, ainda, folgas para cada um dos lados de 2 mm (Figura 10), dada a restrição, tornava-se fundamental aumentar a área de aplicação, e consequentemente, a quantidade de pó aplicada.
- Ajustes inadequados do equipamento no que dizia respeito à distribuição da carga eletrostática no pó, o que resultava numa distribuição desigual de pó ao longo da área de aplicação (observava-se que era aplicado mais pó de um lado do que do outro), o que levava, por sua vez, a que nas áreas com déficit de pó não fosse cumprida a gramagem mínima. Para colmatar essa falha, aplicava-se, então, mais verniz pó.

Na Figura 19, é, então, visível a presença de resíduos de soldadura e a distribuição desigual de pó ao longo da reserva. Estes fatores iriam, a médio prazo, levar a que a corrosão se criasse, e propagasse a toda a embalagem, mais facilmente.

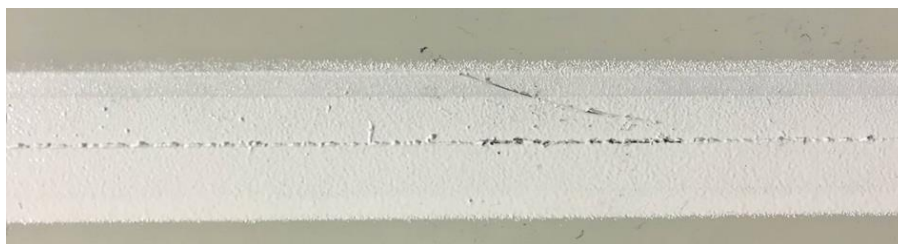


Figura 19- Exemplo de aplicação com resíduos de soldadura e desvios de aplicação

Para além do referido anteriormente, levantou-se a questão sobre o nível e uniformidade de formação dos supervisores, responsáveis pela afinação, e dos operadores, a quem cabe o controlo da qualidade antes de ser iniciada a produção. Esta surgiu da observação de duas realidades:

- Tempos de paragem para afinação muito longos, acontecendo, várias vezes, antes e durante a produção de uma ordem;
- Os operadores executavam os testes de qualidade apenas esporadicamente, havendo turnos, de duração de 8 horas, em que este controlo não era feito.

Numa ordem de produção, a folha-de-flandres pode ter dois tipos de revestimento exterior (branco ou esquema litográfico), dois de revestimento interior (dourado ou pigmentado) e três tipos de espessura (0.28 mm, 0.30 mm ou 0.38mm).

Durante as várias discussões realizadas com os operadores e supervisores, estes expressaram a sua dificuldade em gerir o processo de forma eficaz tendo em consideração a variabilidade do *input* do processo e referiram certos paradigmas instalados nas equipas, o que levou a que fossem levantadas as questões a seguir apresentadas:

1. Considerando que as ceras existentes no verniz dourado interior (as quais tornam a aderência do pó à reserva mais difícil e o processo de cura mais complicado, segundo informação recolhida em linha) são diferentes das que constituem o verniz pigmentado interior, revelar-se-á o consumo do verniz pó diferente na presença de cada um destes revestimentos? Na Figura 20, encontram-se, respetivamente, ilustrados exemplos de revestimentos interiores dourado e pigmentado.

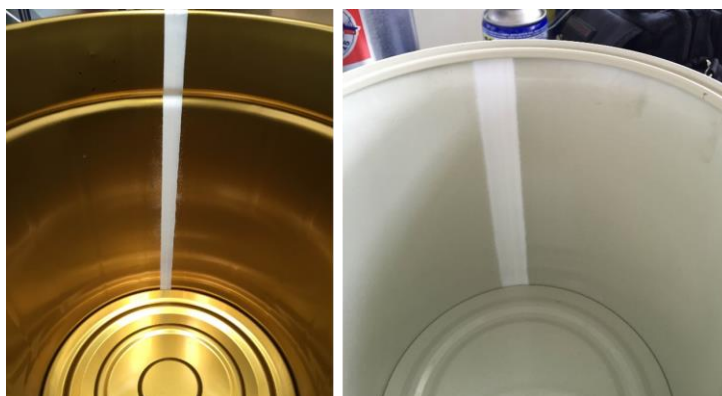


Figura 20- Exemplos de revestimento dourado e pigmentado, respetivamente

2. Será a quantidade de verniz pó aplicada na costura interior menor quando a folha-de-flandres apresenta, exteriormente, um esquema litográfico semelhante ao da Figura 21? Esta pergunta resultou do facto dos operadores referirem que este tipo de revestimento exterior exige mais cuidado durante a passagem no forno de cura dos vernizes das costuras interiores e exteriores, dado que o esquema de litografia se pode danificar mais facilmente. Reduzindo o tempo de cura em forno, a quantidade aplicada

de verniz teria, também, de ser inferior, quando comparada com a quantidade consumida em embalagens com revestimento exterior branco.



Figura 21- Exemplos de esquema litográfico e revestimento branco

3. Revelar-se-á o consumo de verniz pó dependente da espessura da folha-de-flandres, mostrando que a espessura e a dificuldade de cura, no forno, são diretamente proporcionais? O esquema da Figura 22 ilustra o modo como a cura do verniz pó é realizada.

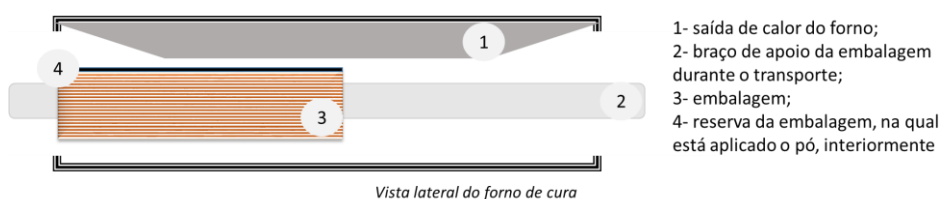


Figura 22- Esquema representativo do forno de cura

Recorrendo a análise estatística, foi verificado se estes fatores afetavam, de facto, o consumo do verniz pó e se os paradigmas instalados que moldaram o trabalho das equipas tinha fundamento, com a perspectiva de obter um modelo mais preciso de consumo e transpor os resultados obtidos para propostas de melhoria e sensibilização em linha.

Assim, foi realizada uma análise estatística inferencial, considerando uma variável dependente “Consumo” e quatro variáveis categóricas independentes: “Revestimento Exterior” com dois níveis (Branco ou Litografia), “Revestimento Interior” também com dois níveis (Dourado ou Pigmentado), “Espessura da Folha”, com três níveis (0.28, 0.30 ou 0.38) e, finalmente, “Equipa”, que se divide igualmente em três níveis (1, 2 e 3).

5.4. Análise exploratória de modelos preditivos

Através da matriz de diagramas de dispersão, representada na Figura 23, foi possível observar, de forma global, a relação existente entre as variáveis independentes e a variável dependente. Atentando aos diagramas localizados na primeira coluna da figura, o revestimento interior revelou ser a variável independente com maior diferença entre níveis, em termos de amplitude e variação.

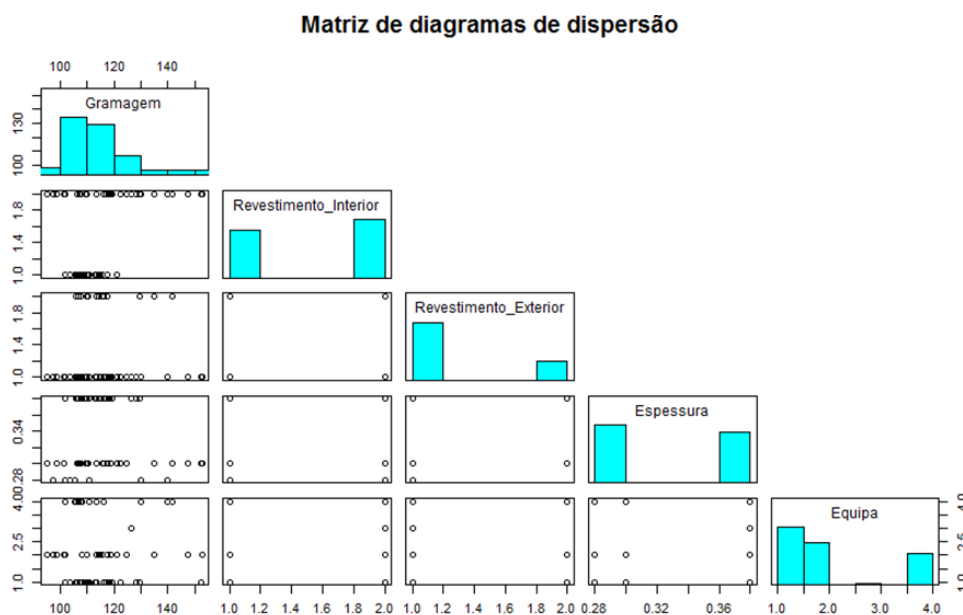


Figura 23- Matriz de diagramas de dispersão para análise de consumo de verniz pó

Os níveis “Dourado” e “Pigmentado” encontram-se, nesse gráfico, representados, respetivamente, com os números 1 e 2. Para cada um deles, é possível, então, observar os valores de gramagem obtidos nas amostras recolhidas. Através da Figura 24, é possível observar com maior precisão a dispersão da gramagem.

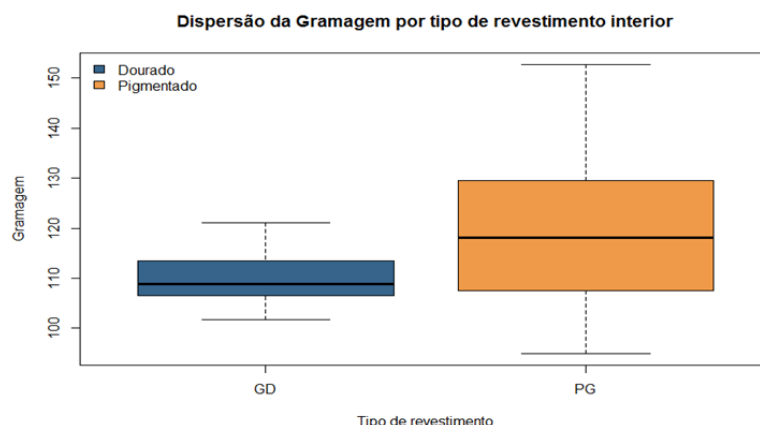


Figura 24-Diagrama de caixas para distribuição de gramagem por tipo de revestimento interior

Observando o diagrama de caixas da Figura 24, para a amostra de dimensão de 60 valores de gramagem:

- Verificou-se maior dispersão da gramagem aplicada quando o revestimento interior era pigmentado, sendo, respetivamente, os valores mínimos e máximos, aproximadamente, 95 e 153 g/m²;
- Para o mesmo tipo de revestimento interior, a distribuição revelou-se praticamente simétrica, sendo possível afirmar que a probabilidade da gramagem variar entre 108 e 118 g/m² é igual à de variar entre 118 e aproximadamente 130 g/m²;
- A caixa associada ao revestimento interior dourado mostrou-se, comparativamente à correspondente ao outro tipo de revestimento interior, curta. A dispersão dos valores é, portanto, pequena e os valores variaram, aproximadamente, entre 100 e 120 g/m².

A presença de revestimento interior pigmentado gerou, portanto, maior variação de consumo, o que tornou mais complexo o controlo de inventário.

De forma a verificar se as conclusões anteriores se aplicavam em situações futuras, podendo ser estabelecido, então, um modelo de previsão de consumo de verniz, ou se foram, somente, resultado da amostra recolhida, foi conduzida, juntamente com as restantes variáveis preditivas, uma análise de regressão linear *Stepwise Backward*.

Para tal, a amostra recolhida foi dividida em dois conjuntos de dados, atendendo à proporção de 80%-20%. O primeiro conjunto, o conjunto de treino, constituído por 48 dados, foi utilizado para a definição dos modelos e, o segundo conjunto, formado por 12 valores de gramagem, foi a base para a verificação dos resultados obtidos no teste, constituindo o conjunto de teste. A divisão em grupos atendeu a uma ordem cronológica de recolha.

As variáveis categóricas com mais de dois níveis foram, também, convertidas em variáveis artificiais (*dummy*), tendo em consideração a expressão (1.7):

$$N^{\circ} \text{ de variáveis artificiais} = n^{\circ} \text{ de níveis da variável} - 1 \quad (1.7)$$

Desta forma, foi garantida, por exemplo para a variável qualitativa “Espessura”:

- $D_{Esp_0.28} = 1$, se a espessura da folha-de-flandres é de 0,28; caso contrário $D_{Esp_0.28} = 0$;
- $D_{Esp_0.30} = 1$, se a espessura da folha-de-flandres é de 0,30; caso contrário $D_{Esp_0.30} = 0$;

O processo foi repetido para a variável “Equipa”. Não houve necessidade de repetir o procedimento para as variáveis qualitativas com dois níveis, dado que o *software* R faz a conversão binária automaticamente.

No modelo de regressão, foram ainda adicionadas variáveis relativas à combinação de fatores, com o objetivo de incluir eventuais interações. A estrutura geral do modelo de regressão é apresentada na expressão (1.8):

$$\begin{aligned} Gramagem = & \beta_0 + \beta_1 \times D_{PG} + \beta_2 \times D_{WC} + \beta_3 \times D_{Esp_0.28} + \beta_4 \times D_{Esp_0.30} + \beta_5 \\ & \times D_{Eq_1} + \beta_6 \times D_{Eq_2} + \beta_7 \times D_{PG}D_{WC} + \beta_8 \times D_{PG}D_{Esp_0.28} + \dots + \beta_9 \\ & \times D_{PG}D_{Eq_1}D_{WC}D_{Esp_0.30} \end{aligned} \quad (1.8)$$

No Anexo I, encontram-se as interações consideradas durante a realização da análise de regressão.

O método adotado na presente análise de regressões encontra-se esquematizado na Figura 25, tendo sido definido um nível de significância de 5% para o processo de decisão das variáveis independentes com efeito na variável dependente e, por isso, a serem incluídas no modelo. No Anexo J, é apresentada uma versão mais completa do método a utilizar na análise em questão.

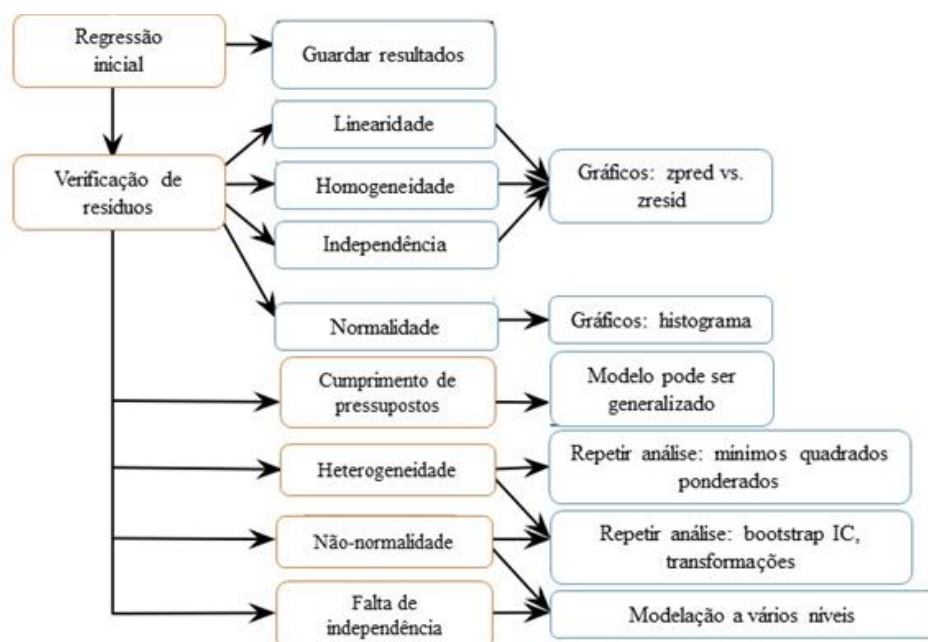


Figura 25- Método utilizado na análise de regressões: in “Prof. Andy Field, Exploring Data: The Beast of Bias., (Field 2012), 2012”

O primeiro passo da análise foi, então, verificar a linearidade dos dados. Dado tratar-se, somente, de variáveis independentes qualitativas, as quais foram transformadas em variáveis mudas, a reta de ajuste entre as médias dos grupos é sempre linear, como se pode comprovar no Anexo K.

Após este passo, foi, então, iniciada a análise.

Como resultado desta aproximação, determinou-se um novo modelo para estimativa de valores de gramagem, identificado na fórmula (1.9):

$$\text{Gramagem} = 106.964 + 9.713 \times D_{PG} \quad (1.9)$$

Onde:

D_{PG} , é uma variável binária que assume o valor 1 quando o revestimento interior da virola é pigmentado e o valor de 0 quando o revestimento interior é dourado

Apenas o revestimento interior pigmentado se revelou estatisticamente significativo, com um valor de prova de 0.00478, pelo que todas as restantes variáveis não foram incluídas no modelo.

Associado a este modelo de previsão, encontrava-se um R^2 ajustado de 15.77%. Ou seja, o modelo obtido revelou-se pouco capaz, na medida em que explica apenas, aproximadamente, 16% da variação verificada em torno da média da variável “Gramagem”.

No que respeita a validação dos pressupostos, verificou-se que, embora o pressuposto de normalidade dos erros fosse cumprido, as suas variâncias não eram homogêneas. Estas conclusões foram obtidas após análise gráfica e realização, respetivamente, de análise gráfica e testes de hipóteses, quando justificável. No Anexo L, encontra-se o resultado, mais detalhado, da regressão linear e a informação relativa à verificação dos pressupostos.

Devido, portanto, à não validação de um dos pressupostos-chave da regressão, recorreu-se à transformação dos dados.

A primeira transformação realizada foi a logarítmica, a qual é utilizada para correção de distribuições simétricas à direita, de curtose positiva, de diferença de variâncias e, também, de falta de linearidade entre a variável dependente e variáveis independentes (Field 2012).

Desta forma, foi transformada a variável dependente “Gramagem”, e repetido o procedimento anterior, tendo como resultados um novo modelo, identificado na equação (1.10):

$$\log(\text{Gramagem}) = 2.0294 + 0.0345 \times D_{PG} \quad (1.10)$$

Onde:

D_{PG} , é uma variável binária que assume o valor 1 quando o revestimento interior da virola é pigmentado e o valor de 0 quando o revestimento interior é dourado.

À semelhança do processo anterior, o pressuposto de homogeneidade dos erros não foi cumprido.

Para além disso, com a transformação da variável dependente, a percentagem de variação explicada pelas únicas variáveis independentes com efeito na variável de resposta, diminuiu em, aproximadamente, 0.29 p.p..

No Anexo M, encontra-se a verificação dos pressupostos após a transformação logarítmica.

Desta forma, continuou-se com o processo iterativo para a definição de um modelo que cumprisse os pressupostos mais importantes da regressão.

Segundo o prof. Andy Field, (2012), uma das soluções mais adequadas para segunda iteração, para resolução do problema de não-homogeneidade, seria a transformação com recurso à raiz quadrada dos valores originais da variável dependente.

Esta transformação é, como referido na Secção 2.3, uma ferramenta aplicável para redução da assimetria positiva (à direita) e, tal como se verifica na transformação analisada anteriormente, não é aplicável a valores negativos.

Após transformação da variável dependente da análise, obteve-se o modelo representado na equação (1.11):

$$\sqrt{\text{Gramagem}} = 10.3432 + 0.4388 \times D_{PG} \quad (1.11)$$

Com a presente transformação com raiz quadrada, o valor do R^2 ajustado aumentou, comparativamente ao modelo representado na expressão 1.10, passando de 15.48% para 15.67%.

Também nesta iteração, não foi possível cumprir o requisito da homogeneidade das variâncias, estando a informação necessária para esta conclusão no Anexo N.

Sabendo que a divisão de 1 por um valor elevado permite minimizar o seu impacto, foi analisado, também, o impacto da transformação recíproca de todos os valores da variável dependente na heterogeneidade das variâncias dos erros. Após a realização da transformação, obteve-se o modelo apresentado na equação (1.12):

$$1/\text{Gramagem} = 9.49e^{-3} - 8.14e^{-4} \times D_{PG} \quad (1.12)$$

O modelo resultante da transformação recíproca revelou um valor de R^2 superior aos modelos apresentados anteriormente, sendo a percentagem de variação explicada pelo mesmo de aproximadamente 18%. No entanto, verificou-se que, para além de não ter eliminado o problema de heterogeneidade, a divisão de 1 pelos valores da variável resposta tornou a distribuição dos erros não-normal.

A análise dos pressupostos do modelo apresentado na expressão (1.12) encontra-se no Anexo O.

Não ignorando o facto de nenhum dos modelos anteriores ter cumprido os pressupostos, o qual tem como consequência a redução da precisão dos coeficientes determinados no modelo,

foi avaliada a performance do modelo com valor de R^2 ajustado mais elevado, ou seja, o modelo associado à equação (1.12). Para tal, recorreu-se aos dados do conjunto de teste.

Através da comparação dos valores reais do conjunto de teste com os valores estimados pelo modelo em análise, verificou-se, tal como é observável no Anexo P, uma diferença média de 12% entre os valores reais do conjunto de teste e os obtidos considerando o modelo expresso na equação (1.12) e as características das encomendas (variáveis independentes). O reduzido valor médio de discrepância, tendo em consideração o valor de R^2 de 18% associado ao modelo, resulta do facto de existir um intervalo de elevada amplitude de valores de gramagem no qual se garante uma boa aplicação: no conjunto de dados utilizado para condução da análise de regressão, os valores apresentaram maior variação, quando comparados com os valores do conjunto de teste, estando distribuídos ao longo de todo o intervalo suprarreferido. Por sua vez, no conjunto de teste, a gramagem aplicada não sofreu grandes oscilações e revelou-se próxima dos valores estimados (ver Anexo P). O facto do conjunto de teste apresentar reduzida dimensão leva a que surjam dúvidas relativamente ao valor de 12% de discrepância, não havendo certezas relativamente à sua capacidade de representação da situação real.

Esta diferença representa uma estimativa deficitária de, aproximadamente, 63 gramas por 1000 embalagens produzidas, o que se reflete, ao final do ano, e tendo por base as quantidades produzidas de 2015, em 95 quilogramas de verniz pó estimado a menos, o equivalente, por sua vez, a uma quantidade suficiente para revestir as reservas de 155 mil embalagens (10% da produção anual- ver Anexo P).

Embora o modelo obtido não se tenha revelado muito potente, no sentido de a percentagem de variação explicada pelas variáveis independentes com efeito na variável de resposta ser reduzida, este pode ser um bom ponto de partida para entendimento de variações e otimização do método preditivo utilizado na empresa.

Não menorizando as limitações referidas anteriormente, através da análise realizada, foi possível esclarecer, então, que:

- Não existe diferença significativa (considerando a amostra recolhida) no funcionamento das equipas, isto é, o nível de conhecimento do processo e domínio do mesmo é semelhante;
- O mesmo se verifica relativamente ao revestimento exterior e espessura da folha-de-flandres. Estas variáveis, contrariamente à variável “Equipa”, são contratuais, isto é, não podem ser modificadas e controladas pela empresa.

6 Análise dos desvios de consumo para vernizes líquidos

A observação, na linha 23, dos processos de envernizamento com materiais líquidos, levou a que fossem levantadas dúvidas relativamente à sua eficiência, na medida em que, durante a produção, era visível a dispersão de material entre os equipamentos de envernizamento e as partes da embalagem a revestir.

O presente capítulo é dedicado à quantificação dos desvios entre os consumos reais, os estimados pela empresa e os calculados no projeto, à identificação dos fatores explicativos dessas discrepâncias e à avaliação da eficiência dos processos, no sentido de corroborar, ou não, a ilação realizada no parágrafo anterior. Embora esta não seja a principal motivação para realização do projeto, de modo a ser possível avaliar o impacto financeiro dos desvios encontram-se, na Tabela 9, os preços dos vernizes líquidos utilizados.

Tabela 9- Preço dos vernizes líquidos sob análise

<i>Verniz</i>	<i>Preço</i>
<i>Verniz para proteção de costura exterior</i>	3.05€
<i>Verniz para revestimento de olhais</i>	10.72€

6.1. Quantificação dos desvios

Tal como no processo analisado anteriormente, o primeiro passo para a avaliação dos desvios de consumo foi a comparação entre os valores estimados pela empresa e os calculados no projeto. Da observação da Figura 26, correspondente ao processo de revestimento de olhais, concluiu-se que os dois valores se revelaram muito semelhantes. Por outro lado, atentando à Figura 27, foi possível verificar que, para a costura exterior, os valores de consumo em SAP eram muito inferiores aos determinados durante a realização do projeto, havendo uma discrepância de aproximadamente 130%.

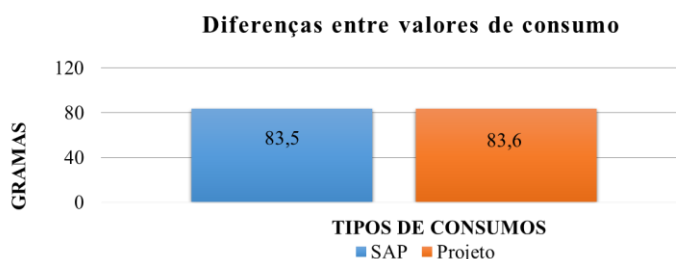


Figura 26- Comparação entre valores em SAP e calculados no projeto, para olhais

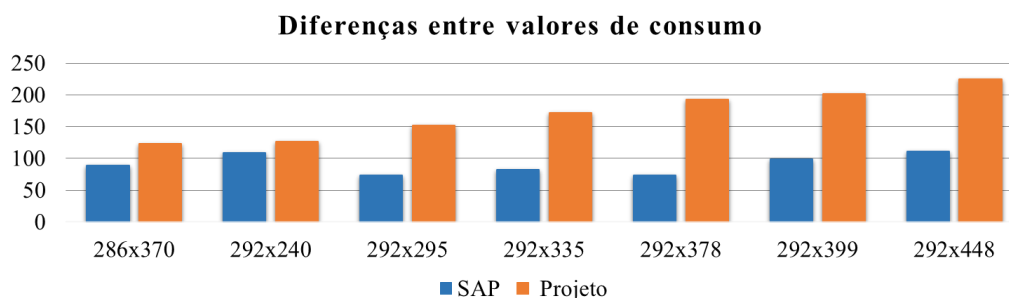


Figura 27- Comparação entre valores em SAP e calculados no projeto, para costura exterior

Note-se, no último caso referido, um facto revelador da inadequabilidade dos valores existentes no sistema: os valores estimados pela empresa eram menores que o limite inferior de consumo necessário, apenas, a uma boa cobertura da costura (ver Tabelas 4 e 5), não sendo, sequer, contemplados no modelo os desperdícios inerentes ao processo de envernizamento por *spray*.

Comparando, de seguida, os valores anteriores com os correspondentes aos consumos reais, depreendeu-se que o consumo em linha era, ainda, superior às estimativas realizadas. Esta realidade mostrou-se mais alarmante para o processo de envernizamento exterior dos olhais (ver Figura 28):

- No envernizamento dos olhais, considerando a semelhança ilustrada na Figura 26, o consumo real apresentou valores muito elevados, identificando-se uma diferença de 120%;
- Embora, no caso do revestimento da reserva exterior da virola, o consumo real se tenha revelado muito superior ao estimado em SAP, verificou-se uma diferença positiva de aproximadamente 20% entre o consumo verificado em linha e o estimado no projeto.

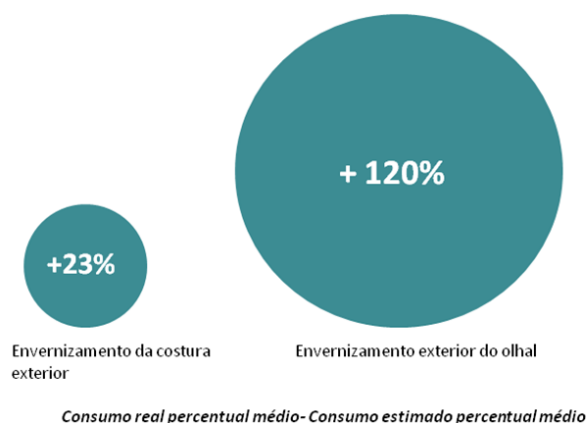


Figura 28- Diferenças de consumo para vernizes líquidos

Da análise anterior, concluiu-se que a atualização, em SAP, das especificações de consumo do verniz utilizado no revestimento exterior da costura, permitiria uma considerável minimização dos seus desvios ao consumo. Para além disso, a consideração dos desperdícios inerentes ao processo de envernizamento, o qual não atinge eficiências de 100% e, por isso, requer um consumo superior ao necessário à garantia da qualidade, reforçaria a menorização dessas discrepâncias.

No que respeita o envernizamento dos olhais, mesmo tendo sido considerados 35% de desperdício para o cálculo do valor teórico do projeto (ver Secção 2.2), o valor real de consumo mostrou-se muito elevado. Para além do impacto financeiro provocado por esta diferença, ilustrado na Tabela 10, existe um fator que torna o processo de envernizamento de

olhai o processo crítico: o fornecedor deste verniz opera em regime *make-to-order*, ou seja, só inicia a produção quando lhe é feita uma encomenda por parte da empresa cliente. Desta forma, em caso de rutura de inventário, ou numa situação próxima deste extremo, a produção de embalagens com envernizamento de olhai estaria parada durante o tempo necessário para produção, transporte e movimentação do verniz dentro da empresa. Verificando-se desvios de consumo de cerca de 120%, o risco de rutura era eminente.

Tabela 10- Custos anuais dos desvios de consumo nos revestimentos exteriores na linha 23

Medida de análise	Verniz para costura exterior	Verniz para revestimento de olhai
Custo aproximado estimado (€/ano)	875,73	371,27
Custo real aproximado (€/ano)	1077,15	933,73
Custo do desvio (€/ano)	201,42	562,46

A Tabela 10 ilustra os custos anuais desses desvios, apenas para a linha 23. Estes valores foram calculados tendo por base as quantidades produzidas de embalagens que requereram a aplicação dos vernizes sob estudo, no ano de 2015, na linha 23. Para o cálculo dos consumos reais, por sua vez, foi realizada a pesagem dos reservatórios de verniz antes e depois da produção de quinze ordens com dimensão mínima de 1000 embalagens.

Considerando, portanto, a relevância dos desvios verificados no revestimento dos olhai, as análises a seguir apresentadas nas presente e seguinte secções foram focadas no verniz utilizado nesse processo. Como a análise realizada ao verniz utilizado para revestimento da costura exterior seguiu a mesma orientação, apresentando o mesmo comportamento, mas em menor escala, esta encontra-se disponível no Anexo Q.

Procurando compreender o elevado consumo verificado na linha de produção, foram exploradas, de seguida, as condições do equipamento e do processo nos quais se realiza o envernizamento dos olhai.

6.2. Observação dos fatores influentes no problema

Como foi analisado anteriormente, ao processo de envernizamento de olhai estava associado um consumo muito elevado relativamente ao estimado quer no projeto, quer pela empresa, o que é observável na Figura 28.

Através de observação na linha de produção, foi possível inferir que uma das causas desta discrepância poderia ser o equipamento utilizado para o processo de envernizamento dos olhai. Na Figura 29, estão representados, respetivamente, o esquema do equipamento utilizado e a imagem real do mesmo.

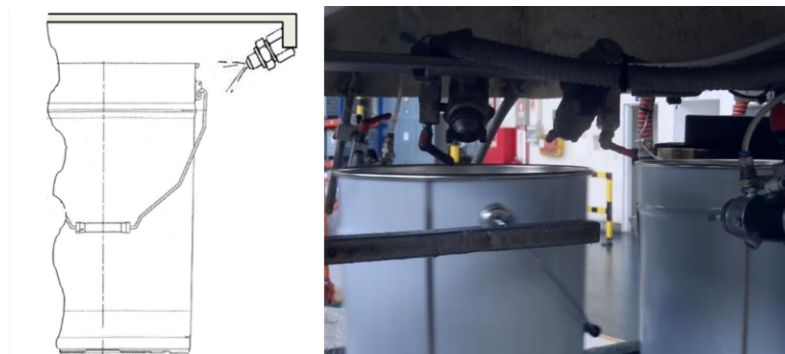


Figura 29- Representação esquemática e real, respetivamente, do equipamento para revestimento de olhai

Verificou-se que devido à disposição das pistolas de *spray*, as quais se encontravam muito elevadas e afastadas dos olhais, havia necessidade de se consumir uma maior quantidade de verniz. Era facilmente observável que grande parte do verniz emitido pela pistola se perdia e dispersava no trajeto até ao olhal. Para além disso, foi possível perceber que o posicionamento das pistolas não era o mais adequado para ser assegurada a cobertura de todo o olhal, dado que o verniz que atingia a embalagem incidia, maioritariamente, apenas num dos lados do alvo a envernizar. Numa tentativa de ultrapassar essa limitação, verificou-se que era aumentada a quantidade de verniz emitida.

A reduzida standardização do processo levava a que não houvesse, em linha, informação relativamente a parâmetros importantes, tais como a abertura do bocal. Escolher adequadamente o tamanho do bocal é um fator crítico para garantir a aplicação precisa do verniz, assegurando, simultaneamente, a maximização do ritmo de trabalho e da eficiência do processo (Hypro EU Limited). Não existindo, então, parâmetro definido, a afinação ficava dependente da sensibilidade dos operadores, nos quais era observável carência de formação e entendimento sobre o processo.

6.3. Quantificação dos desperdícios e eficiência do processo

Após verificação dos desvios de consumo e levantamento do estado inicial, surgiram perguntas às quais se pretendeu dar resposta:

- Do consumo real verificado, qual a percentagem que é desperdiçada devido ao equipamento utilizado?
- A quantidade de verniz não desperdiçada garante a qualidade do envernizamento?

De modo a dar resposta a estas questões, foram avaliadas a eficiência e eficácia do processo.

Para 35 ordens de produção de, no mínimo, 1000 embalagens, foram determinadas, através de pesagens do depósito de verniz, as quantidades totais consumidas, isto é, que se perderam, no depósito, para o envernizamento dos olhais. Esta variável foi denominada de consumo total. De seguida, estes valores foram comparados com a quantidade que, de facto, foi colocada numa embalagem recolhida em cada ordem, determinada por pesagem da mesma, antes e depois da passagem pelo equipamento de envernizamento. Estes valores foram denominados de consumo real. Desta forma, foi determinada a eficiência média ponderada de transferência, através da fórmula (1.13), e, consequentemente, os desperdícios.

$$E.M.P.T. = \frac{\sum_{i=1}^n \left(peso_i * \frac{consumo\ real}{consumo\ total_i} \right)}{\sum_{i=1}^n peso_i} \quad (1.13)$$

Onde:

E.M.P.T., é a eficiência média ponderada de transferência do processo, e,

Peso_i, corresponde ao peso da medição na amostra, avaliado através do quociente entre o número de embalagens analisadas por amostra, neste caso 1, e a dimensão da amostra.

O valor de E.M.P.T. obtido foi de aproximadamente 36%, o que significa que, de todo o verniz consumido, na amostra recolhida, somente 36% atingiu a embalagem, podendo esse verniz estar aplicado no olhal ou em outra qualquer zona periférica.

Desta forma, foi importante relacionar esta análise com a eficácia do processo, isto é, verificar até que ponto o verniz que atingia a embalagem garantia a qualidade do envernizamento. Para verificar, então, a eficácia do processo, recorreu-se a um teste de qualidade, no qual os olhais foram submetidos a imersão em sulfato de cobre, ou seja, foram sujeitos a condições

agressivas. Na Figura 30, encontram-se disponíveis imagens do resultado do teste de qualidade realizado.



Figura 30- Resultados do teste de sulfato de cobre em olhais

Com a realização dos referidos testes, o processo revelou-se pouco eficaz: a formação de corrosão permitiu inferir que o verniz que atinge a embalagem dispersa-se também na periferia do olhal e não cobre toda a parte lateral do mesmo.

A análise realizada permitiu então perceber que o equipamento utilizado para envernizamento não é o mais adequado, na medida em que coloca várias limitações: é propício à dispersão de verniz e torna a completa cobertura do olhal algo difícil de ser atingido, problema que tenta ser colmatado com o aumento da quantidade consumida.

Revelou-se, assim, interessante para a empresa, a exploração de alterações no equipamento, que permitam minimizar os problemas suprarreferidos.

7 Soluções propostas

Identificadas as necessidades da organização, as soluções propostas foram segmentadas por tipo de processo e, em determinados casos, por período de execução. Para o desenho das diferentes propostas de melhoria teve-se o auxílio dos operadores, que foram fundamentais na sua determinação (principalmente no que se refere às mudanças nos equipamentos, dado que são estes os responsáveis pela sua afinação).

As propostas de melhoria foram analisadas e testadas e, em alguns casos, foram quantificados os principais resultados obtidos. Noutras sugestões, a exequibilidade das implementações foi explorada, não tendo, contudo, sido possível determinar os valores de ganhos e esforços requeridos. Para que esta quantificação fosse realizada, era necessário fazer registos exaustivos em linha e em outras áreas da empresa, o que, considerando o tempo de realização do projeto, não era possível. Assim, essas propostas surgem como ponto de partida para análises e trabalhos futuros, tendo sido levantadas questões que, com maior tempo de análise, podem ser respondidas.

7.1. Modelo para estimativa de consumo de verniz pó

Após a análise dos consumos reais, consumos estimados e modelo de planeamento de materiais utilizado pela empresa, revelou-se necessário definir um novo modelo mais avançado para previsão e estimativa de consumo, o qual permitisse, à empresa, operar com níveis adequados de inventário, respondendo da melhor forma ao compromisso entre custos de rutura e custos de posse.

Como apresentado na Secção 5.2, não foi possível definir, no decorrer do projeto, um modelo suficientemente robusto que permitisse explicar a variação da gramagem em função de fatores como os revestimentos interior e exterior da virola, a espessura da folha-de-flandres e a equipa responsável pelo processo.

Dado acreditar-se ser possível refinar o modelo de planeamento de materiais da Colep, afirma-se como essencial o compromisso na continuidade da análise, o qual requer a recolha de mais valores em linha e o seu consequente tratamento e estudo. Desta forma, a metodologia utilizada na análise realizada no presente projeto deve ser seguida em trabalhos futuros, tal como referido na Secção 8.

7.2. Soluções para os processos de revestimento com verniz líquido

Tendo em consideração o facto de algumas das propostas sugeridas requererem negociações com clientes e alterações de paradigmas instalados na empresa, desde direção de topo até aos colaboradores e clientes, as soluções propostas foram divididas em soluções a implementar a curto-prazo e a médio/longo prazo.

7.1.1 Implementações a curto prazo

Das análises de eficiência e de eficácia do processo de revestimento dos olhais, revelou-se premente, a curto-prazo, reduzir os desperdícios e standardizar o processo. Cumpridas estas duas fases de melhoria, o passo seguinte seria, então, definir novos valores de consumo previsto. Para aumentar a transferência através da redução do consumo total de verniz, deveria ser analisada a influência de fatores como a velocidade do ar e as pressões do fluido e de atomização do ar (North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance 1996), bem como o efeito da interação dos mesmos. Tipicamente, o Desenho de Experiências é a ferramenta mais adequada para esta análise, na medida em que permite obter resultados de forma bastante eficaz. Tendo em consideração o curto espaço de tempo para realização do projeto, esta solução não foi explorada, tendo-se optado por melhorias, sobretudo, do equipamento.

Após a leitura de diferentes referências bibliográficas, (North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance 1996 e Northeast Waste Management Officials' Association 1998), foi possível concluir que mudanças simples no equipamento utilizado para envernizamento permitiriam aumentar a sua performance. Na Figura 31, encontra-se a comparação entre o equipamento atualmente existente em linha, e o sugerido no projeto.

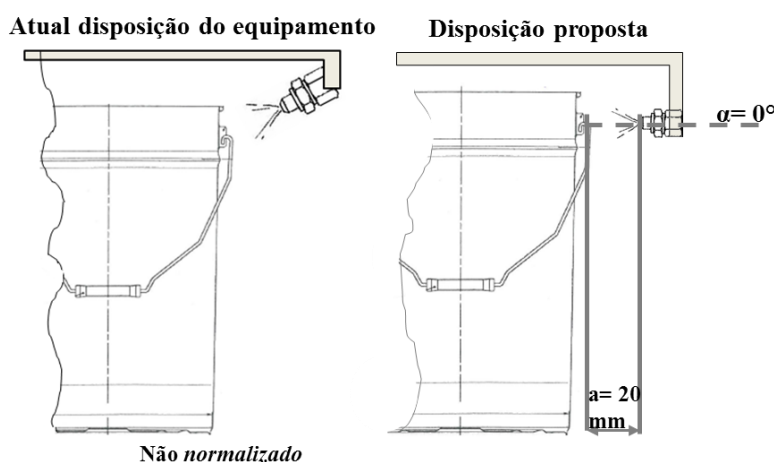


Figura 31- Mudanças no equipamento de envernizamento de olhais

A eficiência de transferência pode ser aumentada se os seguintes factos forem considerados:

- Distância entre o bocal da pistola e o alvo de envernizamento deve ser minimizada, garantindo, contudo, a cobertura necessária. Procura-se, assim, uma menor dispersão das partículas ao longo do trajeto até ao olhal (North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance 1996);
- O bocal da pistola deve-se encontrar perpendicularmente ao olhal (Northeast Waste Management Officials' Association 1998);
- De modo a maximizar a eficiência de emissão de verniz, o espaçamento entre olhais, ou seja, entre embalagens, deve ser reduzida, isto é, o ritmo de passagem da embalagem no sistema deve ser maior e constante. Não foi possível testar o impacto desta consideração, dado o facto de, para tal, ser necessário alterar todo funcionamento a montante, na linha de produção (Northeast Waste Management Officials' Association 1998).

Os aspetos mencionados não reduzem a quantidade de verniz consumido no total, possibilitando, apenas, aumentar o seu aproveitamento, isto é, a quantidade de verniz que, de facto, atinge a embalagem, e a qualidade da aplicação.

Procurou-se, primeiramente, definir a distância “a”, representada na Figura 31, entre o bocal da pistola e o olhal, tendo como restrição a qualidade da aplicação (verificada através do não escoamento de verniz ao longo de embalagem e do cumprimento da área de 50 mm definida anteriormente). Através de um processo iterativo, definiu-se uma distância de 20 mm.

O passo seguinte foi, então, verificar as diferenças resultantes das mudanças sugeridas para o equipamento. Após a realização de novas medições em linha, cujo método adotado se encontra no Anexo R, foi possível verificar o aumento da eficiência média de transferência em 22 pontos percentuais, passando de um valor de 36% (ver Secção 6.3) para aproximadamente 58%.

Embora a eficiência do processo tenha aumentado consideravelmente, a eficácia não se alterou, tendo, somente, passado a haver melhor cobertura da parte frontal do olhal, em detrimento do revestimento das partes laterais.

Dado o facto, anteriormente mencionado, de o fornecedor do verniz utilizado para revestimento de olhais produzir, apenas, quando recebe uma encomenda por parte da Colep, torna-se fundamental que o planeamento do mesmo seja realizado de modo a que não ocorram ruturas de inventário. Para tal, a determinação das necessidades de consumo deve ter por base especificações adequadas. Sugeriu-se, então, e principalmente devido ao facto anterior, que fossem implementados novos valores de consumo estimado, sendo esta uma medida válida, somente, a curto-prazo.

Os valores apresentados na Tabela 11 correspondem, então, a quantidades totais de consumo, isto é, resultantes da soma das quantidades que garantem, teoricamente, a cobertura do olhal com as associadas aos desperdícios. Recorde-se que o valor anteriormente considerado pela empresa (83.5g) correspondia, somente, à primeira parcela desta operação.

Tabela 11- Custos de alterações de valores de consumo para linha 23

Novo valor de consumo (g)	Custo planeado atual (€/ano)	Novo custo planeado (€/ano)	ΔCusto (€/ano)
210	2685,36	6753,6	4068,24

Número de unidades produzidas na linha 23: 5462999

Esta não é uma solução sustentável, no sentido de não conduzir à realização de operações eficientes, nem ir de encontro à mentalidade *Lean* da empresa. No entanto, impede que a empresa falhe no compromisso com os seus clientes, por não ter recursos para produção. A exploração de soluções mais arrojadas é já mais exequível, a médio/longo prazo.

7.1.2 Implementações a médio/ longo prazo

Considerando os resultados obtidos aquando o levantamento da situação inicial dos processos de envernizamento exterior dos olhais e da reserva de soldadura, e tendo conhecimento das distintas práticas de envernizamento existentes na fábrica da Colep situada em Navarra, a qual não reveste nem a parte exterior dos olhais, nem a costura exterior contra a corrosão, foi realizado um *benchmarking* aos processos de envernizamento exterior. Pretendeu-se, portanto, verificar se a Colep de Navarra era um caso isolado no mercado, ou se, de facto, as práticas existentes na Colep Portugal eram singulares.

Recorrendo a embalagens de empresas concorrentes como a Brasilata, Baltic, Skanem, Sanz, IMV, Crown, IMTO, Reichfield, Neorelva e Llamas Zapata, as quais se encontravam nos armazéns e laboratórios da Colep Portugal, verificou-se que:

- Nenhuma das empresas analisadas reveste a parte exterior dos olhais;
- Apenas a Brasilata enverniza a costura exterior das suas embalagens;

- A Neorelva aposta numa solução distinta no que respeita ao envernizamento exterior dos olhais, soldando-os já envernizados.

Devido ao facto de os olhais e costuras analisados não apresentarem sinais de corrosão após exposição a condições normais de armazenamento e transporte, e sabendo que apenas quando sujeitas a condições agressivas a qualidade não é garantida, (ver Figura 30), a possibilidade de eliminar estes processos revelou-se merecedora de investigação. Na Figura 32, é possível observar o aspeto de um olhal não envernizado, armazenado na empresa há mais de dez anos.



Figura 32- Olhal não envernizado em embalagens de empresas concorrentes

A implementação desta solução permite, para além da redução de tempos de *setup*, de custos de produção e de manutenção e da simplificação do processo, que a empresa se foque no que, de facto, garante a qualidade dos produtos da empresa e dos clientes. A correspondente quantificação das melhorias carece de exaustivos registos em linha, os quais não foi possível obter durante a realização do projeto.

Além do referido, esta solução permite uma maior limpeza e arrumação da área de trabalho, pois o processo de envernizamento de olhais é responsável por acumulação de resíduos no chão da linha, resultantes de escorrimento, os quais têm de ser constantemente removidos, consumindo, aos operadores, tempo que pode ser utilizado para atividades relativas à produção. A Figura 33 revela o estado atual da linha 23, na área de envernizamento deste componente.



Figura 33- Área, da linha de produção, onde decorre o envernizamento dos olhais

Para a implementação da presente proposta, a Colep Portugal deve procurar respostas para perguntas como: “É possível aumentar a camada de estanho da folha-de-flandres, de modo a compensar a eliminação destes processos de revestimento?”, “Quais os clientes que privilegiam, durante a distribuição dos produtos, meios de transporte marítimos ou com

condições agressivas?”. É requerido, também, que se inicie negociações e testes com clientes, no sentido de verificar e comprovar os limites atingíveis por esta solução.

Esta é, então, uma proposta mais exigente dada a necessidade de alteração de paradigmas de várias partes e de realização de um estudo mais aprofundado sobre as desvantagens e perdas decorrentes da eliminação destes processos.

Por sua vez, a opção, por parte da Colep Portugal, pela solução apresentada pela Neorelva significa o reconhecimento, por parte da empresa, da importância deste processo principalmente na manutenção do seu portfólio de clientes, o que potencialmente pode não ocorrer com a eliminação dos processos de envernizamento exterior. Esta solução é, portanto, menos disruptiva, provocando uma menor resistência à mudança.

Para que a Colep inicie a prática da soldadura de olhais já envernizados, esta tem de começar a produzir os seus próprios olhais, os quais, no momento, são comprados. A necessidade de produção deste componente resulta do facto de o envernizamento ter de ser realizado na chapa metálica, na Área de Litografia da empresa, a qual é de, de seguida, conformada. Só desta forma, se garante a completa cobertura do componente. O esquema produtivo dos novos olhais, associado à presente solução, encontra-se representado na Figura 34.

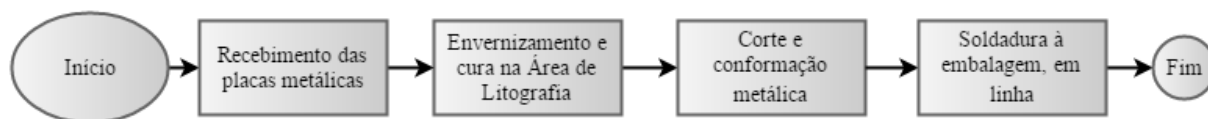


Figura 34- Processo produtivo de olhais envernizados

A realização desta proposta requer, também, a utilização de uma nova matéria-prima. Esta mudança deve-se à necessidade de assegurar que a dureza do conjunto olhal + película de verniz não é demasiado elevada, ao ponto de dificultar o processo de soldadura do conjunto à embalagem. Existe, atualmente, um verniz aprovado pela empresa no que respeita a esta questão, contudo mais testes de qualidade e novos cálculos de consumo têm de ser realizados.

A implementação desta solução, para garantia da total cobertura do olhal, é realizada, então, em detrimento da:

- Minimização da dependência entre áreas, particularmente da Área de Litografia: o envernizamento e cura das placas de metal, as quais dão, depois, origem aos olhais, têm de ser realizados na Litografia, área que opera na sua máxima capacidade, sendo o *bottleneck* da empresa;
- Simplicidade do processo: para soldar olhais envernizados, a Colep Portugal tem, então, de começar a produzir os seus olhais, os quais, atualmente, são comprados.

O facto desta última solução requerer a intervenção da Área de Litografia, que é o *bottleneck* da organização e a responsável por fornecer os *inputs* para as restantes áreas de montagem de aerossóis, embalagens industriais e alimentares, leva a que se ponha em causa toda a produção da empresa. Incorre-se, assim, num risco elevado de falha de produção e na criação de um problema maior, para tentar minimizar um problema que não tem repercussões consideráveis na qualidade do produto, tal como foi observável na análise da solução de eliminação dos processos de revestimento exterior.

Desta forma, considera-se que, embora seja uma proposta exigente para a Colep e que requer ainda uma análise mais profunda dos ganhos e esforços resultantes da sua implementação, a remoção do envernizamento exterior é a solução mais interessante.

7.3. Quadro resumo de implementações

Ao longo do presente capítulo, foram apresentadas várias soluções de resposta para os problemas da empresa. Tendo em consideração a análise de cada uma delas, apresenta-se na Tabela 12 a síntese das propostas de melhoria e, considerando que algumas delas são o ponto de partida para análises futuras, os próximos passos a tomar.

Tabela 12- Quadro resumo de implementações

Processo		Proposta de melhoria	Próximos passos
Verniz para revestimento de costura interior		Novo modelo de previsão	Realização de mais registos em linha
Verniz para revestimento de olhais	Curto prazo	Aumento da eficiência do processo	-
		Alteração das especificações	-
	Médio/Longo prazo	Eliminação dos processos de revestimento exterior	Negociação com clientes Exploração da possibilidade de aumentar camada de estanho

8 Conclusões e perspectiva de trabalho futuro

Num mercado sucessivamente mais competitivo, torna-se fundamental eliminar desperdícios e aumentar a eficiência da organização. O planeamento assume uma posição fundamental neste contexto, garantindo, quando conectado com os acontecimentos verificados no chão-de-fábrica, que estes objetivos sejam atingidos. Analisar, entender e controlar os processos e resultados nas linhas de produção revelam-se, assim, atividades potenciadoras de consideráveis melhorias para a empresa.

Consciente do efeito benéfico dessas atividades, a Colep pretendeu entender os desvios relativamente ao consumo estimado e aumentar a eficiência de alguns dos seus processos de envernizamento. Embora a análise realizada tenha tido como foco somente uma linha, pretende-se que esta seja aplicada às restantes linhas produtivas cujos processos utilizem as matérias-primas estudadas, seguindo a mesma orientação.

A realização do presente projeto permitiu concluir que:

- A utilização de especificações desatualizadas leva a que, para garantia da qualidade, não seja possível cumprir o estimado pela empresa para consumo de verniz pó. A desatualização resultou do facto de se ter transposto os valores do verniz anteriormente utilizado para o atual, sem serem investigadas repercussões na qualidade das embalagens;
- Da análise descritiva realizada à amostra recolhida, verificou-se que, na presença de folha-de-flandres envernizada interiormente com verniz dourado, os operadores afinam os equipamentos de modo a diminuir a quantidade de verniz pó aplicada;
- O consumo de verniz líquido mostrou-se muito superior ao necessário para garantia de uma boa aplicação e ao valor estimado pela empresa, existente em SAP. O processo de envernizamento de olhais revelou ser o processo crítico, dado ter-se verificado, para a amostra recolhida, uma discrepância positiva de 120% entre o consumo real e o estimado. O facto do fornecedor deste material produzir, apenas, aquando da receção de uma encomenda, torna este resultado ainda mais crítico;
- Os desperdícios resultantes dos processos de revestimento com verniz líquido são elevados, atingindo, no caso do envernizamento dos olhais, o valor de aproximadamente 70%. Na base destes valores encontram-se a utilização de um equipamento pouco adequado e a não standardização do processo. Para além do referido, a eficácia do envernizamento, neste processo, revelou-se deficitária.
- No caso do processo de revestimento da costura exterior, o desperdício médio de 20% pode ser reduzido se todos os parâmetros de aplicação, definidos pela Colep, forem atendidos;

Foi, também, possível identificar que não existe, durante o planeamento das necessidades de consumo, a distinção clara entre a quantidade necessária para garantia da qualidade e a quantidade total de consumo, correspondente à quantidade anterior acrescida de uma margem associada aos desperdícios dos processos. A consideração deste último valor, após

implementação de medidas corretivas necessárias e estabilização dos processos, tornaria os acertos negativos em inventário menos significativos.

No decorrer do presente projeto não foi possível definir um modelo de previsão suficientemente robusto para consumo do verniz utilizado no revestimento da reserva interior de soldadura. Dadas as dúvidas relativamente à precisão dos valores existentes na base de dados da Colep, foi necessário medir e registar consumos no chão-de-fábrica. Este revelou-se um processo moroso, tendo como consequência a realização da análise preditiva numa amostra de pequena dimensão comparativamente à produção da empresa. Por se acreditar ser possível a otimização do modelo atual da empresa, de modo a evitar que, com os valores atualizados de especificação, a determinação das necessidades de consumo não seja superior ao consumo verificado na linha de produção, considera-se que o processo anterior deve ter continuidade, sendo, então, necessário um compromisso para recolha de valores em linha e consequente tratamento e estudo dos mesmos.

O registo de dados na linha de produção permitiu a identificação de falhas relativas ao controlo do fluxo de material entre o armazém de matérias-primas e a fábrica, não existindo o registo de informação sobre quais os materiais enviados para a fábrica, nem sobre a sua data de saída do armazém. Se este controlo fosse realizado de forma automática com recurso, por exemplo, a sistemas de radiofrequência conectados a sistemas de informação, não haveria necessidade, sempre que são detetados desvios ao consumo, de estar a cargo do responsável da área produtiva a verificação dos materiais existentes em linha e consequente comunicação ao Departamento de Compras.

Para além do referido, os valores elevados verificados de acertos, quer positivos, quer negativos levaram a que fossem levantadas dúvidas relativamente à precisão com que é realizado o controlo de inventário em armazém. Verificar-se, num determinado mês, um asserto negativo correspondente a um consumo superior ao estimado de, por exemplo, 300 quilogramas e, no período seguinte, a necessidade de realização de acertos positivos também consideráveis, não permite um entendimento claro de como se processa o controlo em armazém e o próprio consumo em fábrica. Desta forma, estudar os fluxos de materiais e a forma como é realizada a gestão de inventários de matérias-primas seria um forte complemento para um projeto de continuidade do descrito na presente dissertação.

O presente projeto foi o passo inicial para a identificação, e consequente resolução, de problemas existentes em diferentes áreas da empresa, de modo a melhorar continuamente as suas atividades. Para além de futuros projetos a implementar na Colep, a conquista dos objetivos definidos pela empresa depende, acima de tudo, da sua capacidade de adaptação e desejo de mudança.

9 Referências

- Automation.com. *Epicor to supply ERP to Sencon*. 20 de Abril de 2015. <http://www.automation.com/automation-news/industry/epicor-to-supply-erp-to-sencon> (acedido em 01 de Julho de 2016).
- Box, G. E. P., e D. R. Cox. “An Analysis of Transformations.” University of Wisconsin . *An Analysis of Transformations* . 1964.
- BUȘE, Prof. Lucian, Assist. Mirela GANEA, e Lect. Daniel CÎRCIUMARU. *USING LINEAR REGRESSION IN THE ANALYSIS OF FINANCIAL-ECONOMIC PERFORMANCES*. Craiova, Romania , 2009.
- Caprihan, R., R. Janardhan, J.P. Singh, e M. Anand. “Simulation of Supply Chain Networks: A Review.” Em *Logistics and Supply Chain Management*, de P. Radhakrishnan, Shanthakumar Palaniswami, P.V. Mohanram e J. Kanchana, 104-109. Mumbai: Allied Publishers, 2001.
- Chrisman, Lonnie. “Abstract Probabilistic Modeling of Action.” Em *ARTIFICIAL INTELLIGENCE PLANNING SYSTEMS*, de James Hendler, PP 28-37. Massachusetts: Morgan Kaufmann, 2014.
- CompuData Inc. *Best ERP Systems for Midsize Businesses: Epicor vs. SAP vs. Oracle*. 14 de Agosto de 2015. <http://www.compudata.com/epicor-vs-sap-vs-oracle/> (acedido em 02 de Julho de 2016).
- Domsche, W.; Scholl, A. *Basics of Business Administration*. Berlin, 2003.
- Entrup, Matthias Lutke. *Advanced Planning in Fresh Food Industries*. Physica- Verlag, 2005.
- Ernst & Young. “Unwrapping the packaging industry- Seven factors for success.” Reino Unido, 2015.
- Evans, James R. “Business Analytics: The Next Frontier for Decision Sciences.” *Decision Line*, Março de 2012: 4.
- Field, Prof. Andy. “Exploring Data: The Beast of Bias.” *Discovering Statistics*. 2012. <http://www.statisticshell.com/docs/exploringdata.pdf> (acedido em 13 de Junho de 2016).
- Fleischmann, Bernhard, Herbert Meyr, e Michael Wagner. “Advanced Planning.” Em *SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND ADVANCED PLANNING*, de Hartmut Stadler e Christoph Kilger, pp 81-106. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- Joseph, Ron. *TRANSFER EFFICIENCY*. Junho de 2009.
- Kavle, Ulhas. *What is SAP MRP*. 2 de Novembro de 2009. <http://www.sapsword.com/home/learn-sap-pp/sap-mrp/what-is-sap-mrp---material-requirement-planning> (acedido em 10 de Junho de 2016).

- Loginov, Michael V., Emily Marlow, e Victoria Potruch. *Predictive Modeling in Healthcare Costs using Regression Techniques*. Santa Barbara, 1 de Agosto de 2012.
- Montanar, Angela. “Basic Principles of Corrosion of Food Metal Packaging.” Em *FOOD PACKAGING HYGIENE*, de Caterina Barone, Luciana Bolzoni, Giorgia Caruso, Angela Montanari, Salvatore Parisi e Izabela Steinka, 105-132. Springer, 2015.
- Nakashima, Kenichi, T. Sornmanapong, Hans Ehm, e G. Yachi. “Stochastic Inventory Control Systems with Consideration for the Cost Factors Based on EBIT.” Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering Kanagawa University, Yokohama, 2014.
- North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance . *Operation and Maintenance Techniques for Spray Coating*. Raleigh, Setembro de 1996.
- Northeast Waste Management Officials' Association. *Metal Painting and Coating Operations*. 1998. <http://infohouse.p2ric.org/ref/01/00777/toc.htm> (acedido em 15 de Maio de 2016).
- Pianoforte, Kerry. *The Industrial Coating Market*. 8 de Junho de 2016. http://www.coatingsworld.com/issues/2016-06-01/view_features/the-industrial-coatings-market-697333/ (acedido em 16 de Junho de 2016).
- SAP AG. *Consumption-Based Planning (MM-CBP)*. Germany, Abril de 2001.
- Sethi, S., e G. Sorger. “A THEORY OF ROLLING HORIZON DECISION MAKING.” Toronto, 1991.
- Smyth, Gordon K. “Nonlinear regression.” Em *Encyclopedia of Environments*, 1405-1411. Chichester, 2002.
- Stadtler, Hartmut. “Supply chain management and advanced.” *European Journal of Operational Research*, 2005: 575-588.
- Sykes, Alan O. “An Introduction to Regression Analysis.” *Coase-Sandor Working Paper Series in Law and Economics*. Vol. 20. Chicago, 1993.
- Top10ERP.org. *Manufacturing ERP Software Comparison For Metal Fabrication*. 2008. <http://www.top10erp.org/erp-software-comparison-metal-fabrication-industry-168> (acedido em 01 de Julho de 2016).
- Tso, Geoffrey K.F., e Kelvin K.W. Yau. “Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks.” *Energy*, 2007: 1761–1768.
- Vergura, Silvano, Giuseppe Acciani, Vitantonio Amoruso, Giuseppe E. Patrono, e Francesco Vacca. “Descriptive and Inferential Statistics for Supervising and Monitoring the Operation of PV Plants.” *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*. 11 de Novembro de 2009.
- Westphal, Fernando Simon, e Roberto Lamberts. *REGRESSION ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF COMMERCIAL BUILDINGS IN BRAZIL*. Paper, Santa Catarina: Energy Efficiency in Buildings Laboratory , 2007.
- WMRC- Division of the Illinois Department of Natural Resources. *Powder Coating*. Champaign, 1998.

ANEXO A: Esquema representativo da estrutura organizacional

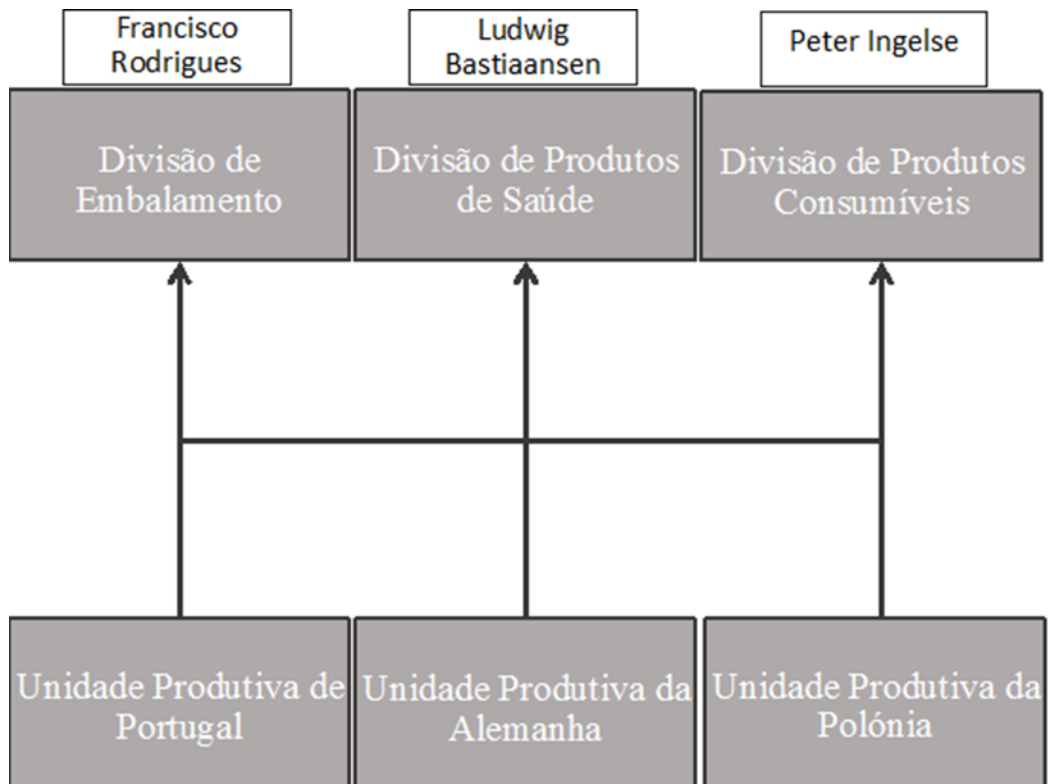


Figura A- Esquema da estrutura organizacional da Colep in: “Portal da Colep”

ANEXO B: Organograma da empresa

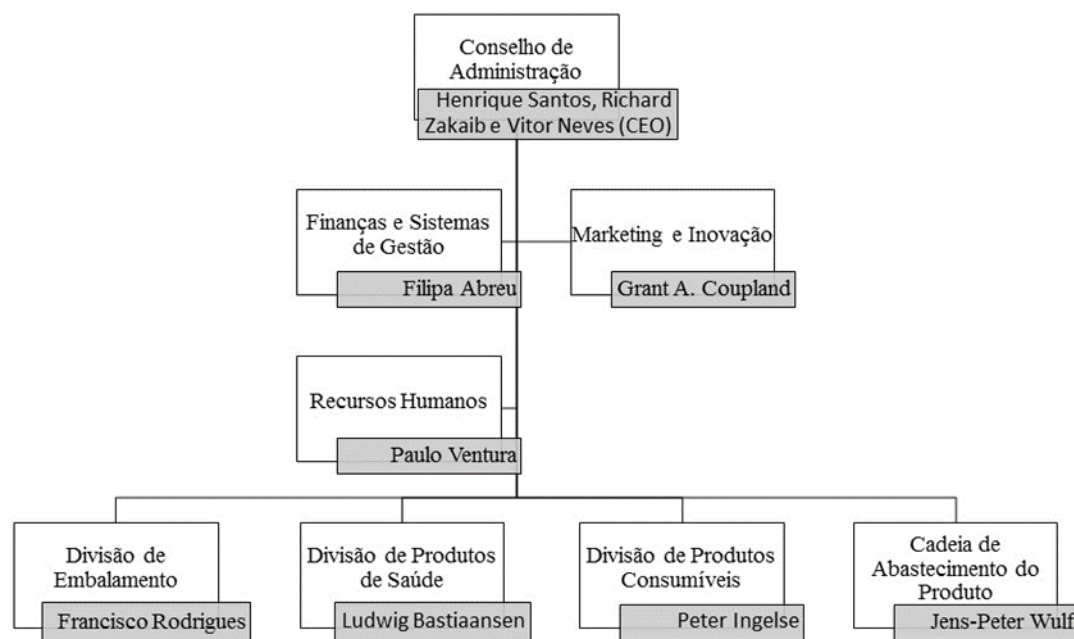


Figura B- Organograma da empresa in: "Portal da Colep"

ANEXO C: Cronograma do projeto

Projeto	Métodos de previsão de consumo de matérias-primas																												
Data de início	15/02/2016																												
Nº Atividade	Identificação da atividade																												
I	Identificação da tarefa																												
	Integração na empresa																												
1.1.	Apresentação à empresa e visita às instalações	1																											
1.2.	Definição do projeto	2																											
II	Levantamento da situação inicial																												
	Recalculo dos valores teóricos	3																											
2.1.	Realização de registos na linha de produção	9																											
2.2.	Execução de testes de qualidade ao produto	9																											
III	Avaliação e Análise																												
	Comparação de valores obtidos	4																											
3.1.	Identificação de factores influentes no problema	3																											
3.2.	Quantificação dos factores	4																											
IV	Desenho de propostas de melhoria																												
	Desenho de propostas de melhoria	3																											
5.1.	Implementação das propostas	3																											
5.2.	Validação dos resultados provenientes da implementação das sugestões de melhoria	3																											
VI	Redação da dissertação																												
	Redação da dissertação sobre o presente projeto	14																											

Figura C- Cronograma para realização do projeto

ANEXO D: Exemplo de Ficha Técnica

Powder

Product Datasheet

Product Description

Side Stripe Powder for three piece food cans and technical packages.

Suitable for all kind of foods, also for aggressive filling goods.

For professional use only!

(ex XG-PL230)

Intended Use

Powder

Chemical / Physical Characteristics

Technology	Powder	
Resin type	modified Polyester	
Cor	white	
Solid content (by weight)	99,5 ± 0,5 %	
Density	1,40 ± 0,01	20 °C

Storage Details

Storage temperatures	Minimum	5 °C
	Maximum	35 °C
	Optimum	20 °C
Shelf life	12 months at 20 °C	

(in original sealed containers)

Avoid storage of coating containers in direct sunlight.

Protect from excessive humidity!

Application Details

Type of application	Electrostatic Corona
Coating preparation	Fluidify well before use!
Substrate	ETP, precoated ETP, welded seams
Dry film weight / thickness	90 ± 20 microns

Curing Details

Type of curing	Hot air	Induction
Conditions	Standard	
Time / Temperature	8 - 16 seconds at 250 °C PMT	
Oven air temperature must be set to achieve the specified PMT's where applicable. These values may vary due to capacity and efficiency of the oven.		

Comments

Figura D- Exemplo de Ficha Técnica utilizada in: "SAP"

ANEXO E: Parâmetros do processo

Tabela E.1.- Parâmetros do processo de envernizamento da costura interior

Parâmetro	Unidade	Valor
Pressão de ar	<i>bar</i>	2.5-3.5
Caudal	<i>bar</i>	0.5-0.6
Sopro ar	<i>m³/h</i>	0,5
Intensidade	<i>µA</i>	20-30
Tensão	<i>kV</i>	20-30
Vibrador	<i>bar</i>	4.0-6.0
Lavagem	<i>bar</i>	3,5
Limpeza	<i>cm de água</i>	-
Geral	<i>bar</i>	6.0-9.0
Injetor	<i>bar</i>	5.0-6.0

Tabela E.2.- Parâmetros do processo de envernizamento da costura exterior

Parâmetro	Unidade	Valor nominal	Intervalo
Pressão de entrada no sistema	<i>bar</i>	4	3.5-4.5
Pressão do cilindro pistola	<i>bar</i>	2	1.5-3
Pressão de ar misturação	<i>bar</i>	2,5	2-3
Pressão da tinta	<i>bar</i>	1	1-1.5
Altura da pistola	<i>cm</i>	11	10.5-11.5

ANEXO F: Exemplo de ordem de produção

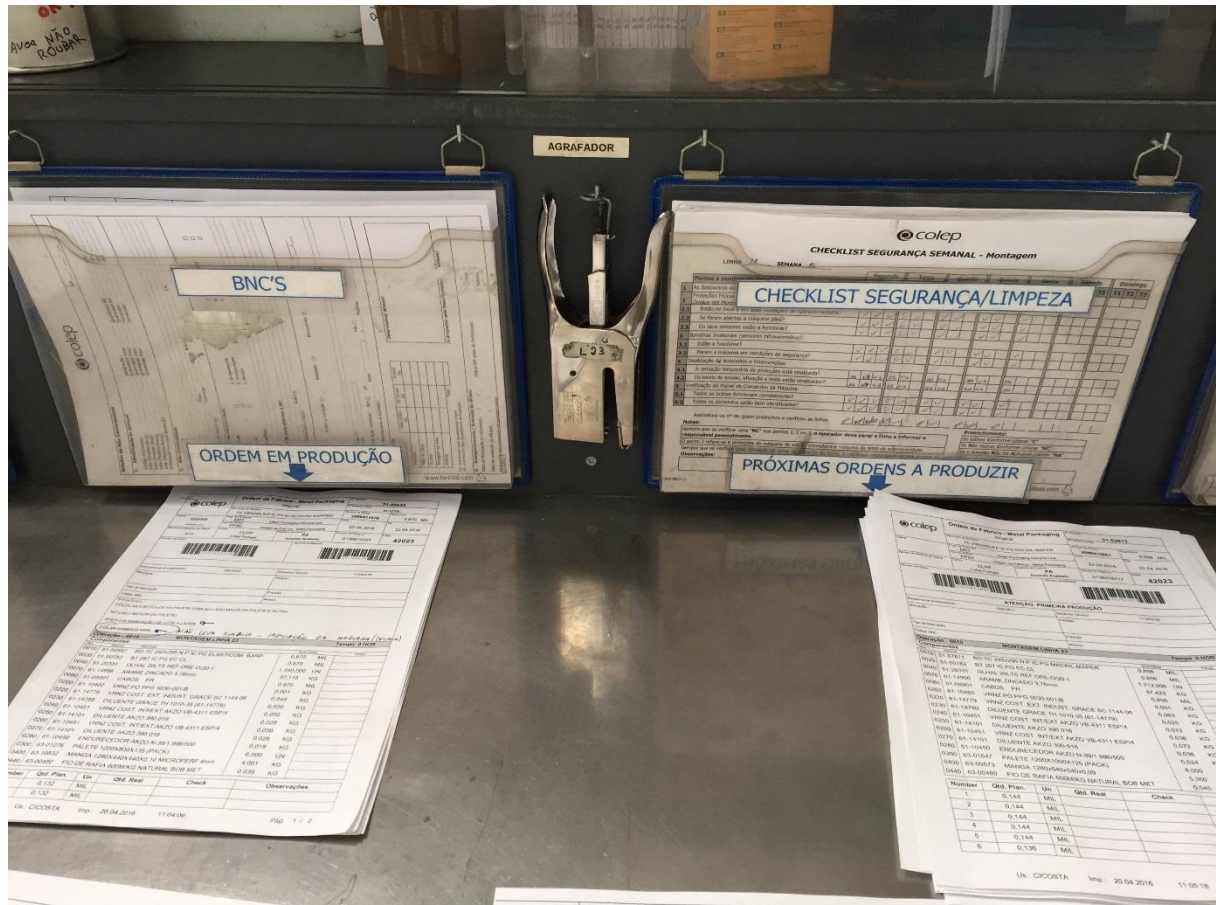


Figura F: Exemplo de ordens de produção a serem consultadas na linha 23

ANEXO G: Método de medição, em linha, da gramagem

Foram analisadas, em cada ordem de produção, 3 virolas. Para cada uma delas, foi adotado o seguinte método:

1. Recolha da virola, da linha de produção, depois da reserva interior ser envernizada e antes de ocorrer a cura do verniz;
2. Pesagem, em laboratório, da virola com verniz húmido aplicado, em gramas;
3. Medição da largura da área de aplicação de pó em 3 pontos, início, meio e fim da costura, através do uso do paquímetro;

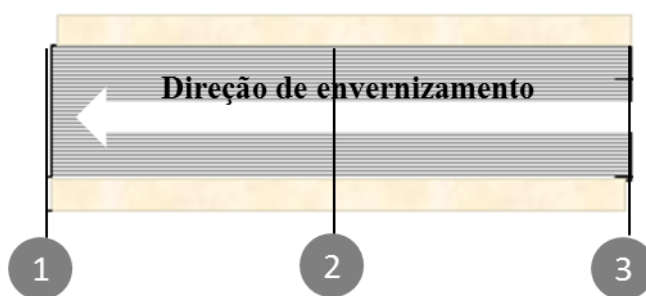


Figura G: Esquema representativo da área de aplicação de verniz pó

4. Remoção do verniz e limpeza da virola, de modo a garantir que todo o pó foi retirado da mesma;
5. Pesagem da virola, em gramas;
6. Aplicação de cálculo da gramagem para cada virola:

$$\text{Gramagem [g/m}^2\text{]} = \frac{\text{Peso da virola com verniz} - \text{Peso sem verniz [g]}}{\text{Área de aplicação [mm}^2\text{]}} \times 1000000$$

Onde:

Área de aplicação, resulta da multiplicação da largura da aplicação com a altura da virola

7. Determinação do valor médio de gramagem das 3 amostras.

ANEXO H: Análise numérica aos valores de gramagem

Tabela H: Análise aos registos de gramagem realizados

Informação	Valor (g/m ²)
Mínimo	95.0
1º Quartil	106.8
Mediana	111.8
Média	115.2
3º Quartil	118.9
Máximo	152.7

ANEXO I: Interações entre variáveis

Recorrendo ao Software R Studio, foi analisado o efeito das 15 variáveis apresentadas na variável dependente Gramagem.

1. Revestimento Interior;
2. Revestimento Exterior;
3. Equipa;
4. Espessura;
5. Revestimento Interior \times Revestimento Exterior;
6. Revestimento Interior \times Equipa;
7. Revestimento Interior \times Espessura;
8. Revestimento Exterior \times Equipa;
9. Revestimento Exterior \times Espessura;
10. Equipa \times Espessura;
11. Revestimento Interior \times Revestimento Exterior \times Equipa;
12. Revestimento Interior \times Revestimento Exterior \times Espessura;
13. Revestimento Interior \times Equipa \times Espessura;
14. Revestimento Exterior \times Equipa \times Espessura;
15. Revestimento Interior \times Revestimento Exterior \times Espessura \times Equipa;

ANEXO J: Processo adotado na análise de regressão

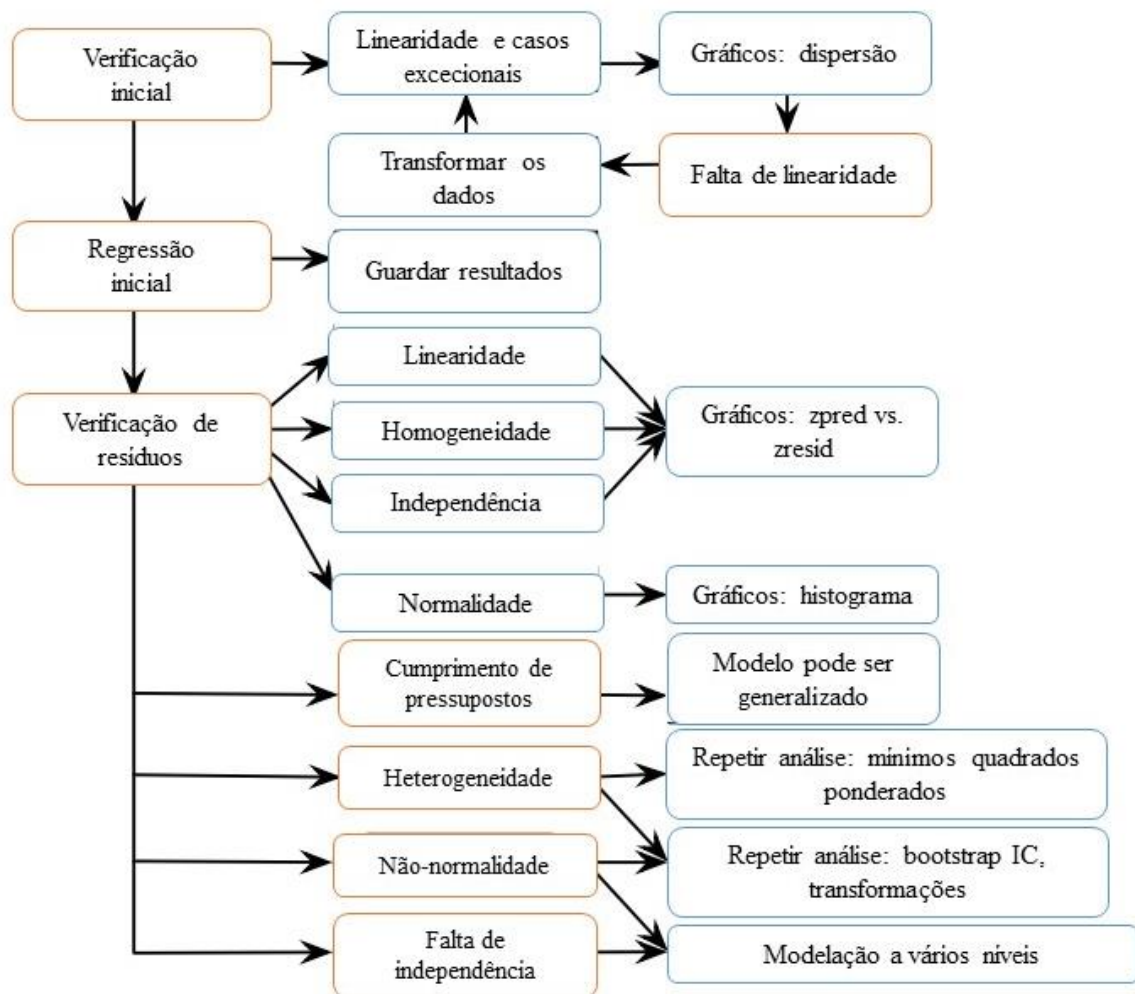


Figura J: Esquema alargado do processo para a condução da análise de regressão in: “Prof. Andy Field, Exploring Data: The Beast of Bias., (Field 2012), 2012”

ANEXO K: Verificação da linearidade para variáveis qualitativas

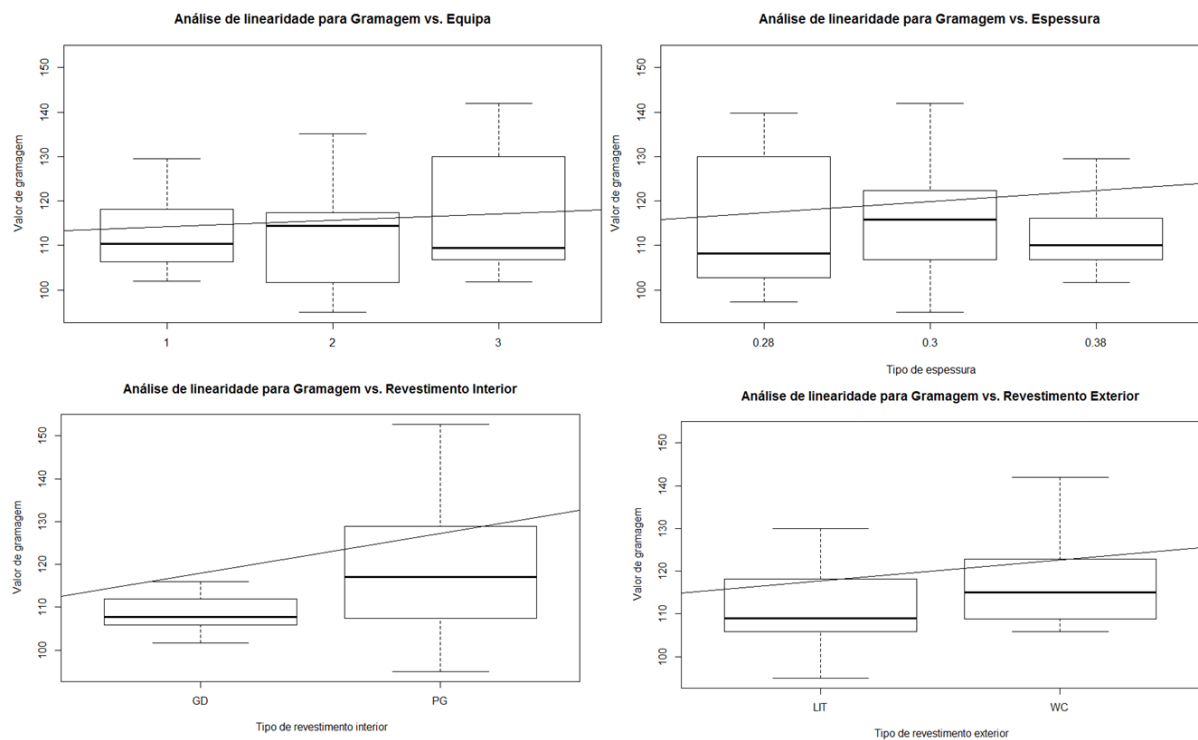


Figura K- Verificação gráfica dos pressupostos de linearidade

ANEXO L: Verificação dos pressupostos da regressão

Tabela L- Resultado da condução da regressão linear

<i>Modelo</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro standardizado</i>	<i>Estatística de teste t</i>	<i>Valor de prova</i>
<i>Constante</i>	106.964	2.706	39.529	<2e-16
<i>D_{PG}</i>	9.713	3.268	2.972	0.00478
<i>D_{WC}</i>	5.888	3.705	1.589	0.11919
$R^2 = 19.43\%$		$R^2 \text{ ajustado} = 15.77\%$		

Teste à normalidade de Shapiro- Wilk:

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}$$

Onde:

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1} \times (e_{n-i+1} - e_i)$$

\bar{e} , é a média aritmética dos valores

Verificação do pressuposto de normalidade dos erros

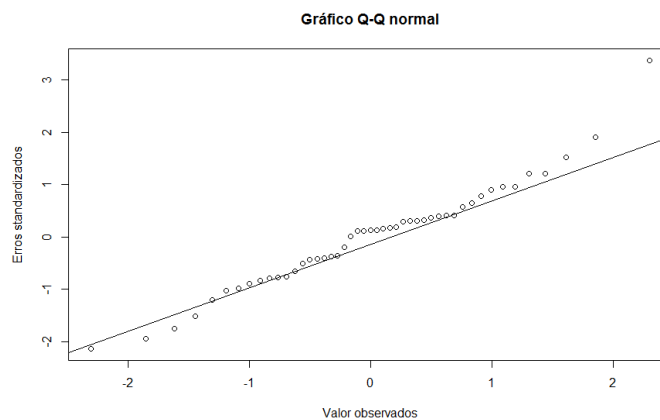


Figura L.1- Gráfico Q-Q para verificação da normalidade dos erros

Teste à normalidade de Shapiro-Wilk:

H_0 : Os dados seguem uma distribuição normal

H_1 : Os dados não seguem uma distribuição normal

$\alpha=0.05$

$W=0.9656$, valor de prova= 0.179

Como valor de prova $> \alpha$, não existem indícios estatísticos que permitem a rejeição de H_0 , pelo que se assume que esta é verdadeira.

Verificação do pressuposto de homogeneidade da variância dos erros

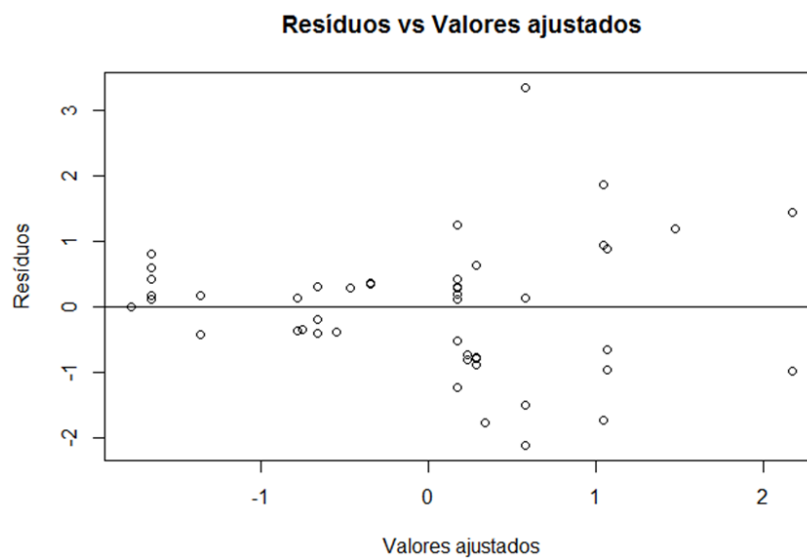


Figura L.2- Verificação da homogeneidade da variância dos erros

A análise do gráfico de “Resíduos vs. Valores ajustados” permitiu claramente concluir que a variância não é homogênea, na medida em que, à medida que se foi deslocando ao longo do eixo dos xx, a dispersão vertical aumentou.

ANEXO M: Verificação dos pressupostos com transformação logarítmica

Tabela M- Resultado da regressão após transformação logarítmica

<i>Modelo</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro standardizado</i>	<i>Estatística de teste t</i>	<i>Valor de prova</i>
<i>Constante</i>	2.02936	0.009829	20.463	<2e-16
<i>D_{PG}</i>	0.034468	0.011870	2.904	0.00574
<i>D_{WC}</i>	0.022375	0.013459	1.662	0.10353
<i>R</i> ² = 19.16%		<i>R</i> ² ajustado= 15.48%		

Verificação do pressuposto de normalidade dos erros

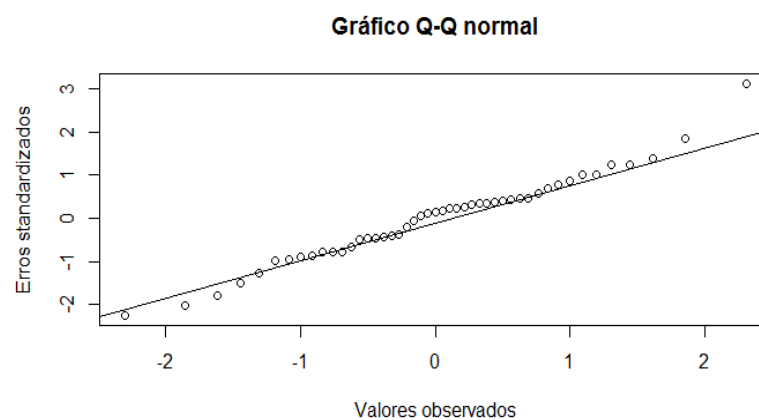


Figura M.1- Verificação da normalidade dos erros, após transformação logarítmica

Teste à normalidade de Shapiro-Wilk:

H₀: Os dados seguem uma distribuição normal

H₁: Os dados não seguem uma distribuição normal

$\alpha=0.05$

W= 0.97644, valor de prova= 0.4544

Como valor de prova > α , não existem indícios estatísticos que permitem a rejeição de H₀, pelo que se assume que esta é verdadeira.

Verificação do pressuposto de homogeneidade da variância dos erros

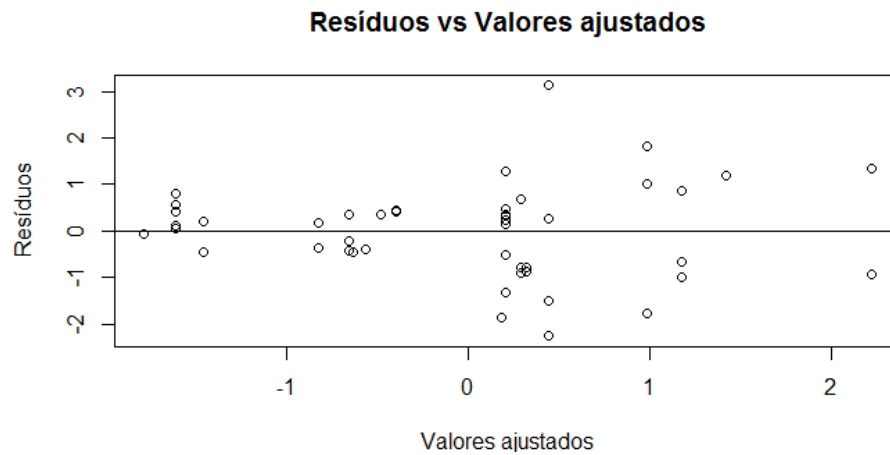


Figura M.2- Verificação da homogeneidade da variância dos erros, após transformação logarítmica

A análise do gráfico de “Resíduos vs Valores ajustados” permitiu claramente concluir, novamente, devido à diferença de dispersão vertical ao longo do eixo horizontal em 0, que a variância não é homogênea.

ANEXO N: Verificação dos pressupostos com transformação de raiz quadrada

Tabela N- Resultado da regressão após transformação de raiz quadrada

<i>Modelo</i>	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro standardizado</i>	<i>Estatística de teste t</i>	<i>Valor de prova</i>
<i>Constante</i>	10.3432	0.1235	83.762	<2e-16
<i>D_{PG}</i>	0.4388	0.1491	2.943	0.00518
<i>D_{WC}</i>	0.2752	0.1691	1.627	0.11079
$R^2 = 19.33\%$		$R^2 \text{ ajustado} = 15.67\%$		

Verificação do pressuposto de normalidade dos erros

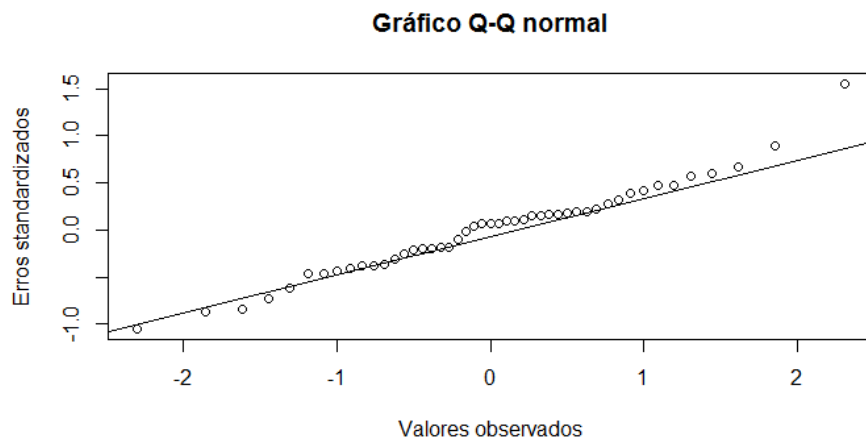


Figura N.1- Verificação da normalidade dos erros, após transformação com raiz quadrada

Teste à normalidade de Shapiro-Wilk:

H_0 : Os dados seguem uma distribuição normal

H_1 : Os dados não seguem uma distribuição normal

$\alpha = 0.05$

$W = 0.97174$, valor de prova = 0.3082

Como valor de prova $> \alpha$, não existem indícios estatísticos que permitem a rejeição de H_0 , pelo que se assume que esta é verdadeira.

Verificação do pressuposto de homogeneidade da variância dos erros

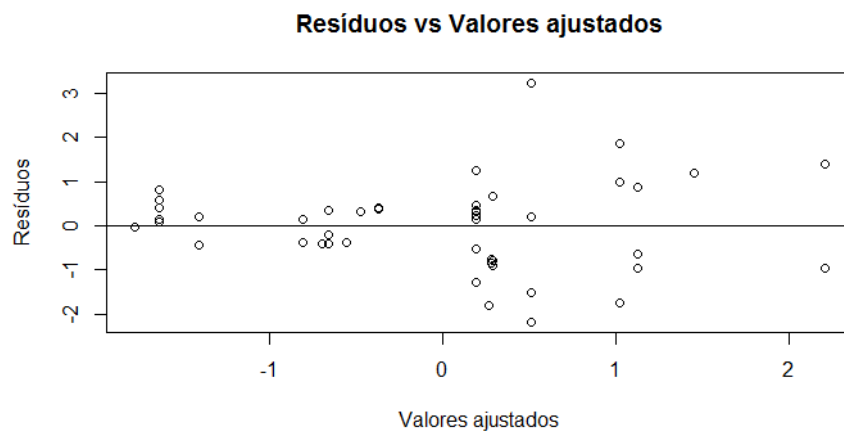


Figura N.2- Verificação da homogeneidade da variância dos erros, após transformação com raiz quadrada

A análise do gráfico de “Resíduos vs. Valores ajustados” permitiu claramente concluir, novamente, devido à diferença de dispersão vertical ao longo do eixo horizontal em 0, que a variância não é homogênea.

ANEXO O: Verificação dos pressupostos com transformação recíproca

Tabela O- Resultado da regressão após transformação recíproca

<i>Modelo</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro standardizado</i>	<i>Estatística de teste</i> <i>t</i>	<i>Valor de prova</i>
<i>Constante</i>	9,49e-03	2,42e-04	39,183	<2e-16
<i>D_{PG}</i>	-8,14e-04	2,40e-04	-3,395	0,00156
<i>D_{WC}:D_{Eq_2}</i>	-1,16e-03	6,58e-04	-1,768	0,08476
<i>R</i> ² = 28.49%		<i>R</i> ² ajustado= 17.77%		

Verificação do pressuposto de normalidade dos erros

Gráfico Q-Q normal

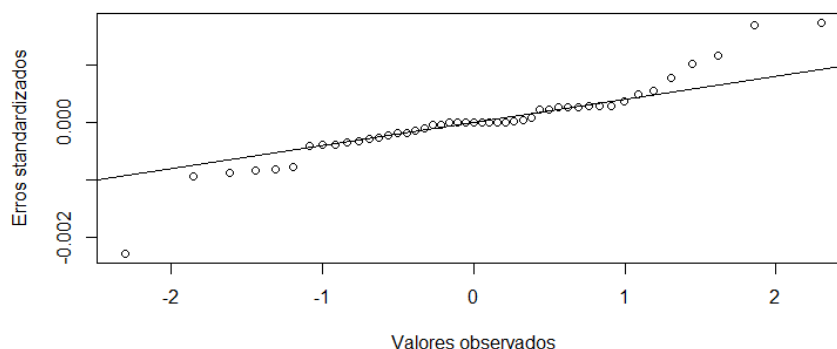


Figura O.1- Verificação da normalidade dos erros, após transformação recíproca

Teste à normalidade de Shapiro-Wilk:

H₀: Os dados seguem uma distribuição normal

H₁: Os dados não seguem uma distribuição normal

$\alpha=0.05$

W= 0.90864, valor de prova= 0.001374

Como valor de prova < α , existem indícios estatísticos que permitem a rejeição de H₀, pelo que se assume que estos dados não seguem uma distribuição normal.

Verificação do pressuposto de homogeneidade da variância dos erros

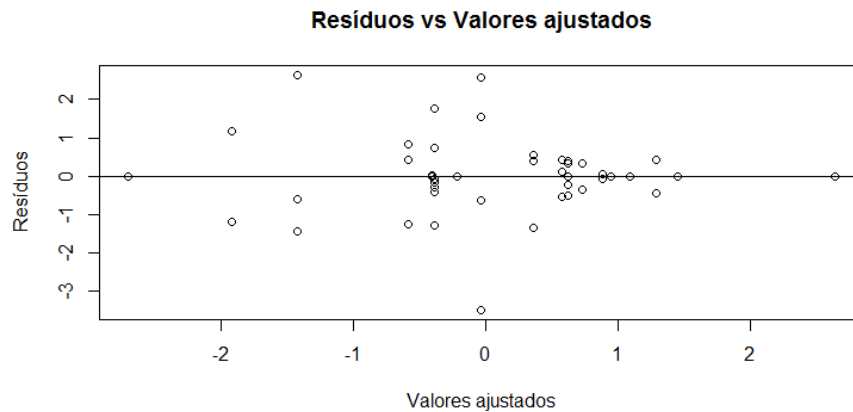


Figura O.2- Verificação da homogeneidade da variância dos erros, após transformação recíproca

Através da observação da figura anterior, foi possível verificar que a transformação recíproca não permitiu, também, reduzir a heterogeneidade dos erros da regressão.

ANEXO P: Verificação da performance do modelo de previsão

Amostra	Observado [1/(g/m ³)]	Estimado [1/(g/m ³)]	Consumo pela regressão	Consumo real [g]	Consumo estimado SAP	% (Consumo real - Consumo previsto regressão)/Consumo regressão	% (Consumo SAP regressão)/Consumo previsto regressão
1	0,0068	0,0087	515,4687	660,0977	565,0000	28%	10%
2	0,0066	0,0087	537,3844	710,0754	565,0000	32%	5%
3	0,0087	0,0095	541,4645	600,0000	697,0000	11%	29%
4	0,0088	0,0095	644,2016	730,1933	697,0000	13%	8%
5	0,0091	0,0087	621,7266	589,9527	565,0000	-5%	-9%
6	0,0101	0,0087	629,8110	540,0308	565,0000	-14%	-10%
7	0,0083	0,0095	452,5796	520,0018	541,0000	15%	20%
8	0,0085	0,0095	453,9326	536,7544	541,0000	18%	19%
9	0,0091	0,0095	460,0211	527,3645	541,0000	15%	18%
10	0,0093	0,0095	582,6675	643,0826	697,0000	10%	20%
11	0,0090	0,0095	698,9399	800,0000	870,0000	14%	24%
12	0,0080	0,0087	507,7755	550,0217	565,0000	8%	11%
Total						12%	12%

Produção de 2015 na linha 23: 1519938 unidades

Figura P- Resultado da aplicação do conjunto de teste

ANEXO Q: Análise ao verniz para revestimento de costura exterior

Como foi referido anteriormente na Secção 6.1, a atualização das especificações para as determinadas no projeto permitiria, de imediato, reduzir os desvios ao consumo para cerca de 20%. Na Figura Q.1., é possível observar a localização do consumo real relativamente aos valores estimados no projeto e os existentes em SAP.

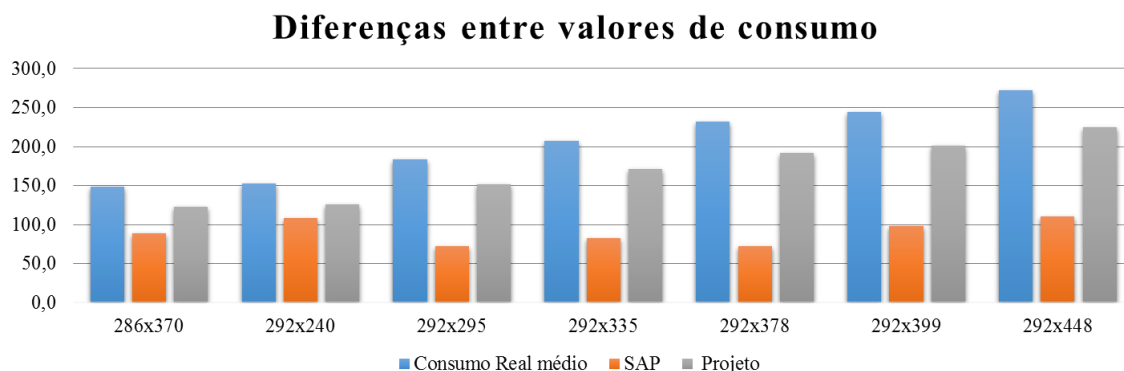


Figura Q.1: Diferenças entre valores de consumo

Tal como no processo de envernizamento de olhais, na maioria dos formatos, o consumo real revelou-se mais elevado que os estimados. Esta diferença resultou de desperdícios inerentes ao processo com uso de *spray*, os quais dificilmente atingem eficiências muito elevadas, e, também, do facto de os parâmetros de aplicação, identificados no Anexo E, não serem cumpridos em algumas ordens de produção.

O parâmetro de pressão de ar de misturação revelou valores sempre acima do indicado pela empresa, rondando os 3.5 bar e, em algumas amostras, a altura da pistola era superior a 12.5mm. Tal como referido na literatura, (North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance 1996), valores elevados de pressão de ar apenas aumentam o consumo de verniz e o desperdício.

Foram, então, avaliados os desperdícios e, simultaneamente, a eficiência média do processo. Recorrendo à fórmula (1.13), indicada na página 38 da presente dissertação, verificou-se uma eficiência média ponderada de transferência de aproximadamente 80%. Contrariamente ao processo de envernizamento de olhais, em praticamente todos os casos avaliados a qualidade do revestimento da costura exterior foi assegurada, não tendo havido dispersão de verniz para as zonas periféricas da reserva.

Considerando a reduzida amplitude de eficiência e a elevada eficiência média, considerou-se que o processo se encontra estabilizado.

ANEXO R: Método utilizado na avaliação da eficiência para as alterações no equipamento de envernizamento

De modo a avaliar os ganhos de eficiência resultantes das mudanças no equipamento de envernizamento, foram feitos 13 novos registos em linha, em 3 momentos distintos (no primeiro momento foram realizadas 4 medições, no segundo, 5 e, no terceiro outras 4). Devido ao facto do processo de medição de consumos ser moroso e estar-se dependente de paragens suficientemente longas para a sua realização, na tentativa de maximizar o número de valores registados assim como a diversidade de momentos em que estes foram feitos, dividiu-se a recolha de valores em linha da forma supramencionada.

Assim, foi adotado o seguinte método para cada amostra, semelhante ao referido na Secção 6.3, utilizando uma balança de maior precisão:

1. Medição da quantidade real consumida durante o envernizamento, isto é, a quantidade retirada do reservatório de verniz;
2. Medição da quantidade de verniz que, de facto, atingiu o olhal;
3. Determinação da eficiência de transferência.